

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



*Одеська державна академія
технічного регулювання та якості*

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ

2(7) 2015

ОДЕСА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ
Випуск 2(7) 2015

Заснований у 2012 р.

Засновник: Одеська державна академія технічного регулювання та якості

65020, м. Одеса вул. Ковальська, 15

Телефон: (048)726-68-92, факс: (048)726-76-95

E-mail: odatry@gmail.com

Сайти: www.kachestvo.od.ua, odatrya.org.ua.

Редакційна колегія

Голова редакційної колегії

Коломієць Леонід Володимирович (д.т.н., професор)

Заступник голови редакційної колегії

Братченко Геннадій Дмитрович (д.т.н., с.н.с.)

Андрієнко Микола Миколайович (к.т.н., професор)

Бойченко Олег Валерійович (д.т.н., професор)

Боряк Костянтин Федорович (д.т.н., доцент)

Ваганов Олександр Іванович (д.т.н., професор)

Величко Олег Миколайович (д.т.н., професор)

Волков Сергій Леонідович (к.т.н., доцент)

Гасанов Юсиф Надир огли (д.т.н., професор, Азербайджанська Республіка)

Гордієнко Тетяна Богданівна (к.т.н., с.н.с., доцент)

Дяченко Олександр Феодосійович (к.т.н., с.н.с.)

Зборовська Ірина Адамівна (к.т.н., доцент)

Квасніков Володимир Павлович (д.т.н., професор)

Клещов Геннадій Михайлович (к.т.н., доцент)

Корсун Валерій Іванович (д.т.н., професор)

Кучерук Володимир Юрійович (д.т.н., професор)

Левін Сергій Федорович (д.т.н., професор, Російська Федерація)

Ленков Сергій Васильович (д.т.н., професор)

Мілованов Валерій Іванович (д.т.н., професор)

Новіков Володимир Миколайович (д.ф.-м.н., професор)

Петришин Ігор Степанович (д.т.н., професор)

Скачков Валерій Вікторович (д.т.н., професор)

Солдо Божо (д.т.н., професор, Республіка Хорватія)

Відповідальний секретар Братченко Геннадій Дмитрович

Внесений наказом Міністерства освіти і науки України від 15.04.2014 р. № 455 до
«Переліку наукових фахових видань України» за № 37 (технічні науки).

Затверджений до друку Вченою Радою Одеської державної академії технічного регу-
лювання та якості (протокол № 3 від 29.10.2015 р.).

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 18770-7570Р від 30.01.2012 р.

ЗМІСТ

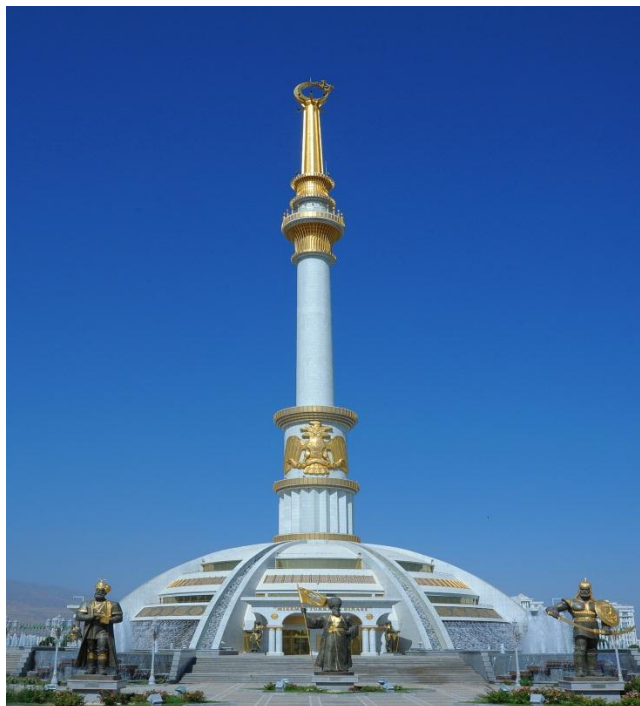
Н. Аманмурадов ПРИОРИТЕТЫ ТРАНСПОРТНОЙ ДИПЛОМАТИИ ТУРКМЕНИСТАНА.....	5
Стандартизація, сертифікація, менеджмент якості	11
О. М. Величко, д.т.н., Т. Б. Гордієнко, к. т. н. ОЦІНЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ТЕХНІЧНИХ КОМІТЕТІВ СТАНДАРТИЗАЦІЇ У СФЕРІ МЕТРОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ.....	12
М. І. Сичов, к.х.н. ЯКІСТЬ ТА ТОКСИКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ДИТЯЧИХ ІГРАШОК.....	17
О. І. Кисельова, к.пед.н., Л. В. Коломієць, д.т.н. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТИВНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЗНАНЬ У ВИЩІЙ ОСВІТІ.....	22
Прилади та методи вимірювання фізичних величин, їх метрологічне забезпечення	28
К. Ф. Боряк, д.т.н., О. В. Афтанюк, к.т.н., О. М. Лимаренко, к.т.н. ПЕРЕВІРКА НА МІЦНІСТЬ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗНКП-60.....	29
Tomislav Koprek, Božo Soldo, DSc, Aleksej Aniskin CONTACT PROBLEM OF COMBINED FOOTING RESTING ON ELASTIC BASE.....	35
В. Ф. Оробей, д.т.н., А. Ф. Дашенко, д.т.н., Л. В. Коломієць, д.т.н., О. М. Лимаренко, к.т.н. МЕТОД ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОСКОЙ ФОРМЫ ИЗГИБА БАЛОК ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ.....	47
Н. В. Глухова, к.т.н. СПОСОБИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛІВ РЕЄСТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ.....	55
А. Н. Василевский, д.т.н., О. Д. Никитенко, к.т.н. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТРОЕННОГО ПО ПРИНЦИПУ АНАЛОГО- ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ.....	62
В. М. Новіков, д.ф.-м.н., О. А. Никитюк, д.с.-г.н., В. В. Новіков, к.т.н. АНАЛІЗУВАННЯ ВИМОГ ДО КОМПЕТЕНТНОСТІ КЛІНІКО-ДІАГНОСТИЧНИХ ЛАБОРАТОРІЙ.....	66
О. С. Корчевський, Л. В. Коломієць, д.т.н. МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ.....	68
А. І. Розмариця, Л. В. Коломієць, д.т.н., К. Ф. Боряк, д.т.н., Л. В. Кузнєцова, О. І. Стариш МОДИФІКОВАНА МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНИХ ТОМОГРАФІВ.....	73
Інформаційно-вимірювальні системи і технології	79
С. О. Кравчук, д.т.н., Д. А. Міночкін, к.т.н. КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ.....	80

А. О. Стопакевич, к.т.н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИУС.....	85
В. В. Скачков, д.т.н., Г. Д. Братченко, д.т.н., Г. Г. Смаглюк, Г. С. Бондаренко ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНУТРИСИСТЕМНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА КАЧЕСТВО РЕШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В АДАПТИВНОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ.....	89
Л. О. Суліма, Л. В. Коломієць, д.т.н. ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ЯКОСТІ НАДАННЯ МЕДИЧНИХ ПОСЛУГ	95
АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	101
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	102

Нурберди Аманмурадов*Чрезвычайный и Полномочный Посол Туркменистана в Украине и Республике Молдова*

ПРИОРИТЕТЫ ТРАНСПОРТНОЙ ДИПЛОМАТИИ ТУРКМЕНИСТАНА

2015 год, вписавший новую яркую страницу в славную летопись эпохи могущества и счастья, прошел под знаком особой юбилейной даты – 20-летия со дня принятия Туркменистаном статуса постоянного позитивного нейтралитета. Объявленный Годом нейтралитета и мира он стал отражением последовательно и неуклонно реализуемой Президентом Гурбангулы Бердымухамедовым миролюбивой, инновационной по своему содержанию внешнеполитической стратегии нашего государства, вносящего поистине неопределимый вклад в обеспечение всеобщего устойчивого прогресса и укрепление основ глобальной системы безопасности. В течение юбилейного года – Года нейтралитета и мира, 20-летия Нейтралитета, был предусмотрен ряд важных мероприятий, центральным событием которого стала, состоявшаяся 12 декабря 2015 года Международная конференция высокого уровня "Политика нейтралитета: Международное сотрудничество во имя мира, безопасности и развития". В работе конференции участвовали главы государств, руководители Организации Объединённых Наций (ООН) и её специализированных структур, а также других авторитетных международных организаций.



Как вы знаете, 2016 год – год для нас тоже юбилейный, в этом году исполнится 25 лет со дня обретения Туркменистаном Независимости. Как известно, по инициативе Президента Гурбангулы Бердымухамедова наступающий год пройдет в Туркменистане под девизом "Год почитания наследия, преобразования Отчизны". В этом году, опираясь на богатейшую историю и культурное наследие нашего народа, государство продолжит политику по обеспечению глобальной и региональной безопасности, экономических преобразований и устойчивого развития.

В тоже время 2015 год был сложным для нашей страны, как отмечал Президент Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов на праздновании славного 20-летнего юбилея нейтралитета Туркменского государства. Были предприняты меры для достижения лучших результатов в обстановке продолжающейся неблагоприятной ситуации в мировой экономике.

В тоже время 2015 год был сложным для нашей страны, как отмечал Президент Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов на праздновании славного 20-летнего юбилея нейтралитета Туркменского государства. Были предприняты меры для достижения лучших результатов в обстановке продолжающейся неблагоприятной ситуации в мировой экономике.

В настоящее время Туркменистан продемонстрировал всему миру, что в таких сложных экономических и финансовых условиях политика нейтралитета нашей страны обладает консолидирующим и стабилизирующим влиянием на развитие государства.

Следует отметить, что в 2015 году согласно сведениям международных экспертных агентств Туркменистан вошел в первую десятку стран по индексу привлечения прямых иностранных инвестиций. По прогнозам Международного валютного фонда в ближайшие годы в нашей стране будет сохраняться высокая динамика роста Валового внутреннего продукта (ВВП), что обеспечивается благодаря проведению взвешенной инвестиционной политики и за счет солидных объемов иностранных капиталовложений.

За 20 лет в Туркменистане освоено инвестиций в объеме 117 миллиардов 200 миллионов долларов США. За это время были построены и

введены в эксплуатацию 250 заводов и фабрик, 26 миллионов квадратных метров жилья, 187 больниц и лечебно-оздоровительных центров, 394 школы, 310 детских садов, 94 учреждения культуры, 39 высокочассных отелей, более 70 административных зданий министерств и ведомств, а также электростанции, железные дороги, аэропорты, крупные мосты и газопроводы.

В настоящее время в стране ведется строительство более 2-х тысяч крупных объектов.



На совместном заседании Кабинета Министров Туркменистана и Государственного совета безопасности Президент Гурбангулы Бердымухамедов отметил, что по предложению Генерального секретаря ООН на конец 2016 года запланировано проведение в Ашхабаде I Всемирной конференции по созданию устойчивой транспортной системы, в связи с чем глава государства дал соответствующим руководителям поручения по ее организации и подготовке плана мероприятий. В этом контексте следует отметить, что Президент Гурбангулы Бердымухамедов выступил инициатором крупномасштабных проектов, нацеленных на развитие взаимовыгодных экономических связей и укрепление международного сотрудничества за счет формирования мощной транспортно-коммуникационной инфраструктуры.

Согласно "Национальной программе социально-экономического развития Туркменистана на 2011-2030 годы" Туркменистан определен как трансконтинентальный экономический мост взаимодействия европейской, азиатско-тихоокеанской и южно-азиатской экономических систем. Исходя из этого, приоритетным направлением этой долгосрочной программы является опережающее развитие транспортно-коммуникационного комплекса, способного в полном объеме удовлетворять потребности экономики и населения в транспортных услугах.

Основными задачами вышеназванной программы являются последовательная интеграция в мировую транспортную систему, дальнейшее расширение национальной инфраструктуры.

С развитием механизированных средств передвижения караванные тропы, соединившие две части огромного континента, на какое-то время утратили свою значимость. Но по прошествии времен идея возрождения Великого Шелкового пути в новом качестве обрела свое практическое воплощение. Туркменистан эпохи могущества и счастья по инициативе Президента Гурбангулы Бердымухамедова планомерно превращается в международный логистический кластер с транснациональными автомобильными дорогами, современной авиацией и новыми аэропортами, крупнейшими в регионе портом и морскими судами (паромами).

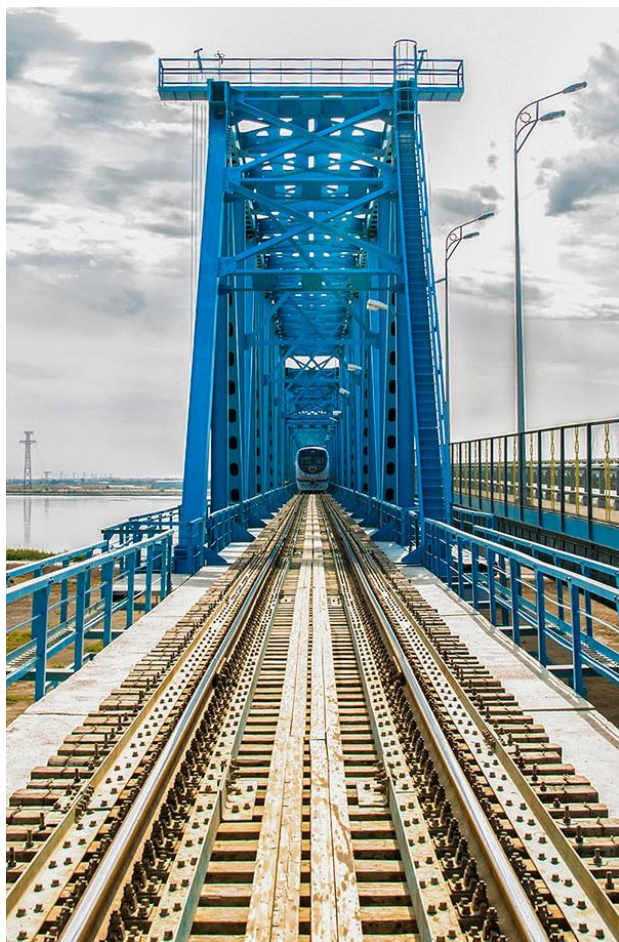
Значение транспорта, как важной составляющей части экономики Туркменистана, определяется его ключевой ролью в территориальном разделении общественного труда и рациональном размещении производительных сил. В одном из своих выступлений президент Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов отметил, что глобальная транспортная стратегия XXI столетия – это стратегия интеграционного прорыва, объединения географических и инфраструктурных возможностей, технического и технологического потенциала государств и регионов. Будущее – за комбинированной системой транспортного сообщения, с выходом на крупнейшие международные и региональные морские, речные, автомобильные, железнодорожные и воздушные узлы, их оптимальное сочетание и использование преимуществ каждого из них.

В этой связи железная дорога Казахстан - Туркменистан - Иран – это не только экономически и коммерчески обоснованный проект, но и серьезный фактор геополитики, способный оказать большое позитивное влияние на общую обстановку в регионе и за его пределами, стать серьезным фактором стабильности и безопасности в Азии, придать дополнительную устойчивость всей системе континентальных политических связей. Перспективность проекта очевидна и в контексте укрепления взаимодействия на уровне международных и региональных организаций, в том числе таких, как Шанхайская Организация Сотрудничества, Содружество Независимых Государств, Организация Экономического Сотрудничества.

Цели этого масштабного проекта объективно соответствуют долгосрочной стратегии Организации Объединенных Наций и ее специализированных агентств, Организации по безопасно-

сти и сотрудничеству в Европе с точки зрения видения региона как прочного звена в цепи стратегической стабильности в южном поясе Евразии, перспективного экономического партнера, крупного транспортно-транзитного узла континентального значения.

В феврале следующего года из Туркменистана в Иран через железнодорожную станцию Серахс должен проследовать пробный контейнерный поезд по маршруту Китай - Казахстан - Туркменистан - Иран.



Общая протяженность этого маршрута составляет около 10 тысяч километров, а время в пути – около двух недель, что в среднем в два раза быстрее, чем морским путем, на который уходит 25-30 суток. Существенное сокращение времени прохождения означает и значительное уменьшение транспортных издержек, т.е. повышается экономическая выгодность маршрута.

Как отмечает зарубежная пресса, эта трасса, протянувшаяся по территории ряда сопредельных стран, в том числе и Туркменистана, является первым логистическим решением в скоростной доставке грузов от побережья Восточного Китая на рынки Персидского залива. Для Туркменистана участие в этом масштабном логисти-

ческом проекте означает активизацию транзитных возможностей как государства с развитой транспортной системой, являющейся сегодня одним из важнейших признаков социально-экономического и технологического прогресса, вовлеченности нашей страны в систему мирохозяйственных связей.



Сегодня в Туркменистане древний Шелковый путь, благодаря успешной реализации транспортной политики Президента Гурбангулы Бердымухамедова, возрождается в новом качестве, в форме современных транснациональных автомобильных, железнодорожных и авиационных маршрутов. Эти трассы, которые практически совпадают с направлениями Великого Шелкового пути, обеспечат укрепление внешнеэкономических связей, расширение транзитных перевозок на континенте, культурных и туристических отношений.



В настоящее время все более актуальной становится задача формирования транснациональных транспортных коридоров как основы пространственной модели развития инфраструктуры регионального и межрегионального сотрудничества.

Как подчеркивает Президент Гурбангулы Бердымухамедов, создание международных транспортных коридоров отвечает как внешним, так и внутренним экономическим интересам Туркменистана.

В силу своего географического положения и национальных экономических интересов, Туркменистан, Казахстан, Иран и их соседи прямо заинтересованы в евразийской интеграции, выходящей за пределы одного региона и охватывающей важнейшие пути развития стран континента. Надежной основой этих позитивных процессов становятся конкретные интеграционные проекты в отдельно взятых ключевых отраслях, от которых импульс, заряд движения передается как по электрической цепи во все другие, переходя в долгосрочный эффект мультипликативно-го характера.

В этом контексте следует особо отметить, состоявшийся 28-29 октября 2015 года по приглашению Президента Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедова официальный визит Президента Украины Петра Порошенко в Туркменистан. В ходе встречи главы государств отметили важность сотрудничества в транспортном секторе. "В настоящее время Туркменистан совместно с партнерами создает разветвленную сеть транспортно-транзитной и логистической инфраструктуры комбинированного типа по направлениям Восток-Запад и Север-Юг. В перспективе она будет включать в себя транзитные трансконтинентальные коридоры, выходящие на регионы Каспийского моря, Черноморского бассейна, Средиземноморья, Балтии. Это открывает оптимальный путь на европейские и ближневосточные рынки. Украина, обладающая мощной портовой инфраструктурой и выгодным географическим расположением, может сыграть важную роль в осуществлении этих планов", – отметил Президент Гурбангулы Бердымухамедов.

Транспортная сфера является одним из центральных функциональных секторов в данном контексте. Это – одна из ведущих форм общественного производства, крупнейший социально-экономический фактор, от уровня которого зависит состояние и развитие промышленности, сельского хозяйства, туризма и, конечно, благополучие и удобство для населения.

На укрепление и расширение взаимовыгодных торгово-экономических связей, с учетом новых реалий и запросов времени, направлены международные инициативы Президента Туркменистана, которые были озвучены на сессиях Генеральной Ассамблеи ООН, саммитах глав государств СНГ, ШОС и других форумах высокого уровня. В частности, речь идет о разработке

Специальной программы ООН по развитию транспорта, предусматривающей изучение транзитно-транспортных возможностей между Каспийским и Черным морями, Средней Азией и Ближним Востоком.

Особую актуальность в этом контексте имеет инициированная лидером нации Гурбангулы Бердымухамедовым и дважды принятая Генеральной Ассамблеей ООН Резолюция о роли транспортно-транзитных коридоров в международном сотрудничестве и устойчивом развитии.

Международные транспортные коридоры стали ключевыми механизмами глобализации мировой экономики. Став катализатором этих процессов, Туркменистан формирует на своей территории один из важных транспортных центров континента, опираясь на устойчивое экономическое и социальное развитие страны и разработанную лидером нации Гурбангулы Бердымухамедовым стратегию реализации геоэкономического потенциала нашего государства в интересах всего региона и континента.

Развитие транспортной инфраструктуры является одним из безусловных приоритетов политики Туркменистана, который совместно с государствами-соседами осуществляет крупные регионально-континентальные проекты. Они открывают огромные возможности для оптимизации транспортных потоков на Евразийском пространстве, обеспечивая выход на морские терминалы Черноморского и Балтийского регионов, Южной и Юго-Восточной Азии, Ближнего Востока, а также на такие мощные экономические центры, как Китай, Индия, Пакистан, страны Азиатско-Тихоокеанского региона.

Важными звеньями международной сети транспортных коммуникаций призваны стать железные дороги Казахстан - Туркменистан - Иран и Туркменистан - Афганистан - Таджикистан, автомобильные и железнодорожные мосты через реку Амударью, аэропорты в Ашхабаде и в велаятах, скоростные автомагистрали, Международный морской порт города Туркменбаши, другие объекты, которые уже введены в строй и ныне сооружаются в Туркменистане. В соответствии с "Национальной программой развития гражданской авиации Туркменистана на 2012-2030 годы", в столице и велаятах ведется строительство новых и модернизация действующих аэропортов.

С целью развития транспортного сектора подписан ряд документов, в том числе Меморандум о взаимопонимании между Правительством Туркменистана и Международным союзом автомобильного транспорта по развитию Евроазиатских автотранспортных связей через территорию

Туркменистана. Кроме того, Туркменистан присоединился к Совместной декларации о развитии евроазиатских железнодорожных перевозок и деятельности по созданию единого железнодорожного права и Совместному заявлению о будущем развитии евроазиатских транспортных связей, принятым в Женеве в феврале 2013 года.



В начале сентября 2014 года в Туркменистане состоялась Международная конференция высокого уровня, посвященная роли транспорта и транзитных коридоров в обеспечении международного сотрудничества и устойчивого развития. Организаторами конференции выступили Правительство Туркменистана совместно с Европейской экономической комиссией (ЕЭК) ООН, Экономической и социальной комиссией ООН для Азиатско-Тихоокеанского региона (ЭСКАТО), Организацией по безопасности и сотрудничеству в Европе (ОБСЕ), Международным союзом автомобильного транспорта (МСАТ).

19 декабря 2014 года, на 69-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН, была консенсусом принята Резолюция "Роль транспортно-транзитных коридоров в обеспечении международного сотрудничества для устойчивого развития" инициированная лидером нации Гурбангулы Бердымухамедовым.

Соавторами вышеназванного документа выступили все страны Центральной Азии, большинство государств Азиатско-Тихоокеанского региона, страны Европы, Латинской Америки и Африки – всего 66 государств, свидетельствует о неуклонном росте авторитета Туркменистана на мировой арене, востребованности, актуальности и всеобщем одобрении конструктивных инициатив, выдвигаемых Президентом Туркменистана. При этом следует особо подчеркнуть, что данная Резолюция является первым документом Генеральной Ассамблеи ООН, официально закрепившим предложение о создании глобального партнерства по устойчивому транспорту.

Выступая на 66-й сессии Генассамблеи ООН в сентябре 2011 года, президент Гурбангулы

Бердымухамедов озвучил предложение о разработке Специальной межрегиональной программы ООН по развитию транспорта. В целях практической реализации этого предложения в мае 2012 года Правительство Туркменистана провело совместно с МСАТ при поддержке специализированных институтов и структур ООН, ОБСЕ и ТРАСЕКА Международную конференцию, посвященную перспективам развития транспортно-транзитных маршрутов в регионе Каспийского моря и Центральной Азии.

В продвижение данных идей туркменская сторона в сотрудничестве с рядом международных организаций в сентябре 2013 года в рамках работы 68-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН в Нью-Йорке организовала мероприятие высокого уровня, на повестку дня которого были вынесены аспекты международного партнерства в сфере транспорта в контексте Целей устойчивого развития после 2015 года. В продолжение темы следует еще раз отметить, что по предложению Генерального секретаря ООН в 2016 году запланировано проведение в Ашхабаде I Всемирной конференции по созданию устойчивой транспортной системы.

При практическом воплощении в жизнь планов президента Гурбангулы Бердымухамедова, Туркменистан станет крупнейшим международным транспортно-транзитным центром, способствующим эффективному развитию межгосударственных связей на всем пространстве Евразийского континента с возможностью эффективного использования всех видов транспорта – железнодорожного, воздушного, морского и автомобильного.

Подчеркнув важность активизации конструктивного взаимодействия в сфере развития международной транспортной системы со специализированными структурами ООН, Президент Туркменистана предложил на основе опыта Международного союза автомобильного транспорта (IRU), ЕЭК и ЭСКАТО обсудить возможности создания Модального Шоссе для Центральной Азии с выходом на Турцию.

Туркменистан также готов выступить в качестве активного партнера и участника программы Европа - Кавказ - Азия (ТРАСЕКА), поскольку формирование западного транспортного коридора из Центральной Азии имеет огромное значение в контексте реализации целей возрождения Великого Шелкового пути и соединения двух мировых экономических полюсов Евразии на качественно новых критериях.

Другим показательным примером служит инициированный Президентом Гурбангулы Бердымухамедовым проект нового транспортного

коридора "Средняя Азия - Ближний Восток" (Узбекистан - Туркменистан - Иран - Оман), к которому проявляют высокий интерес соседние страны с целью возможного участия в нём.

Мощный импульс взаимодействию в этой сфере, несомненно, придала вышеназванная Международная конференция высокого уровня, посвященная роли транзитно-транспортных коридоров в обеспечении международного сотрудничества, стабильности и устойчивого развития, прошедшая в туркменской столице в сентябре 2014 года. По итогам Конференции была принята Ашхабадская декларация, которая обозначила новые подходы к наращиванию международного сотрудничества и углублению интеграционных процессов в области формирования трансконтинентальных транзитно-транспортных коридоров.

В целях укрепления и развития отношений в области морского транспорта между государствами Каспийского моря на основе свободы движения морских судов, принципов равенства и взаимной выгоды между Правительствами Туркменистана и Казахстана было подписано Соглашение о сотрудничестве в области торгового мореплавания. На дипломатическом уровне прорабатываются аналогичные проекты межправительственных туркмено - азербайджанского и туркмено - иранского соглашений.

Особое значение имеет активно ведущееся строительство нового Международного морского порта Туркменбаши. Как известно, через туркменское Приморье проходит международный транспортный коридор ТРАСЕКА, и в недалеком будущем "морские ворота", связывающие Центральную Азию и Европу, станут крупнейшим логистическим и распределительным центром региона.

Этот масштабный инвестиционный проект предусматривает сооружение автомобильно-пассажирского паромного терминала общей площадью 230 тысяч квадратных метров и контейнерного терминалов общей площадью 249 тысяч квадратных метров. В комплекс войдут общий погрузочный терминал, терминал сыпучих грузов, полипропиленовый терминал, а также

судостроительный и судоремонтный завод, который займет территорию в 166 тысяч квадратных метров. Возможности автопассажирского и контейнерного терминалов, а также паромов удовлетворяют высокую потребность в услугах по перевозке грузов и пассажиров в Каспийском море, в том числе транзитных. Здесь важно отметить, что в условиях строительства, только в прошлом году через Международный морской порт Туркменбаши было перевезено более 20 млн. тонн грузов.

Учитывая перспективы развития экономик стран Центральноазиатского региона, прогнозируется повышение взаимного грузооборота и увеличение потока транзитных грузов в эти страны через порт Туркменбаши. Автопассажирские перевозки также послужат стимулом к развитию транспортного сообщения не только Прикаспийских стран, но и стран Центральной Азии в целом.

Таким образом, усилия Туркменистана в транспортной сфере на национальном уровне и в сотрудничестве с зарубежными партнерами сопровождаются и подкрепляются активными политико-дипломатическими действиями на международной арене. По сути, целью транспортной дипломатии Туркменистана является политико-правовое оформление широкого многостороннего консенсуса для последующего создания трансконтинентального (Азия - Европа) транспортно-транзитного коридора. Очевидно, что такой коридор сегодня объективно востребован и будет реально способствовать достижению долгосрочных Целей устойчивого развития. В этом контексте актуальность проведения I Всемирной конференции по созданию устойчивой транспортной системы подтверждена самим временем, ибо, как подчеркивает Президент Гурбангулы Бердымухамедов, выдвигая соответствующие глобальные инициативы, транспортная сфера является одним из ключевых сегментов мировой экономики и неотъемлемым фактором глобального устойчивого развития, напрямую влияющим на стабильность и сбалансированность мирохозяйственных связей.

РОЗДІЛ 1

Стандартизація, сертифікація, менеджмент якості

О. М. Величко, д. т. н., Т. Б. Гордієнко, к. т. н.

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

ОЦІНЮВАННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ТЕХНІЧНИХ КОМІТЕТІВ СТАНДАРТИЗАЦІЇ У СФЕРІ МЕТРОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

Розглянуто підходи щодо оцінювання діяльності технічних комітетів стандартизації у сфері метрології та приладобудування, проаналізовано співпрацю з технічними органами міжнародних та регіональних організацій зі стандартизації, стан гармонізації нормативних документів тощо. Представлені результати оцінювання їхньої діяльності у т. ч. із застосуванням узагальненого критерію. Здійснений порівняльний аналіз діяльності національних ТК у сфері метрології та приладобудування.

Ключові слова: технічний комітет стандартизації, оцінювання, критерій, метрологія, приладобудування, міжнародна організація стандартизації, регіональна організація стандартизації.

Вступ

Діяльність національних технічних комітетів стандартизації (ТК) в сфері метрології та приладобудування тісно взаємопов'язана з діяльністю відповідних технічних органів на міжнародному і регіональному рівнях. При цьому ефективність їхньої роботи впливає на забезпечення потреб вітчизняних урядових та неурядових структур. Проведення досліджень з метою оцінки ефективності діяльності національних ТК та виконання ними функцій, передбачених Типовим положенням про ТК [1], зокрема з урахуванням лише кількості розроблених національних стандартів (ДСТУ), гармонізованих з міжнародними і регіональними (далі – гармонізовані ДСТУ) [2], а також для деяких інших показників [3,4] не давали об'єктивного результату.

Оцінювання роботи національних ТК доцільно здійснювати не лише за показником кількості розроблених ДСТУ, гармонізованих ДСТУ за відповідними групами (сферами діяльності), а й з урахуванням факторів, що найбільше впливають на ефективність роботи ТК. При цьому варто враховувати, що не всі ТК в сфері метрології та приладобудування мають міжнародні аналоги в міжнародних організаціях стандартизації (МОС) або регіональних організаціях стандартизації (РОС), можливість співпрацювати з ними і розробляти гармонізовані ДСТУ. Саме через специфіку сфери діяльності певні ТК розробляють лише ДСТУ, галузеві стандарти, стандарти організацій (СОУ) і технічні умови (ТУ). Тому актуальним питанням є розроблення спеціального критерію оцінювання діяльності ТК, який би враховував різні фактори його діяльності.

Пріоритети для національної стандартизації щодо розроблення гармонізованих ДСТУ визначені чинним законодавством України та іншими нормативними документами (НД). При цьому

прийнятий у 2014 р. Закон України «Про стандартизацію» встановлює строк тимчасового застосування галузевих НД – не більше 15 років з дня набрання чинності Закону, а також позбавляє центральні органи виконавчої влади (ЦОВВ) повноважень приймати галузеві НД (СОУ, ГСТУ) з 01.01.2015 р., що призведе до наявності в Україні лише двох рівнів стандартизації – національної та на рівні підприємств.

Враховуючи підготовку України до укладання з Європейським Союзом (ЄС) Угоди про оцінку відповідності та прийнятності промислової продукції (АСАА), впровадження європейський стандартів, застосування яких сприймається як доказ відповідності вимогам директив «нового підходу», є першочерговим пріоритетом.

1. Національні технічні комітети стандартизації у сфері метрології та приладобудування

Визначено, що у сфері метрології та приладобудування функціонує 8-м національних ТК (табл. 1), які беруть участь у роботі ТК (ТС) або підкомітетах (ПК) ISO, IEC і МТК МДР.

Результати порівняльного аналізу участі конкретних ТК в сфері метрології та приладобудування у роботі структурних органів МОС і РОС наведені у табл. 2.

Аналіз окремих сфер діяльності та об'єктів стандартизації ТК, які здійснюють свою діяльність у цій сфері, виявив, що: в 5-ти ТК (ПК) (63 %) може дублюватись сфера діяльності; із загальної кількості класифікаційних угруповань цих ТК – 12-ть (33%) можуть дублюватись (табл. 3).

Таблиця 1

№ ТК	Назва ТК	ТК (ПК), у якому бере участь ТК			Код згідно з ДК 004
		IEC	ISO	МДР	
63	Загальні норми і правила державної системи забезпечення єдності вимірювань	–	ТС 12, О	–	17.020
65	Прилади промислового контролю та регулювання	ТС 65/SC B, P	ТС 30/SC 2, 5, 7, P	МК 505	17.200.10 17.200.20
66	Оптичні та оптико-механічні вироби	–	–	–	17.180.30*
77	Медицина	ТС 62/SC A, B, C, D; TC 87	ТС 76, 84, 106, 121, 150, 170, 172, 173, 194, 198	–	11.040*
90	Засоби вимірювання електричних і магнітних величин	ТС 85, P, 13, 66, О	–	–	17.220
99	Матеріали та прилади для сцинтиляційної техніки, пов'язаної з вимірюванням іонізуючих випромінень	ТС 45/SC A, B, P	–	МК 514	17.040.30* 17.240*
122	Аналіз газів, рідких та твердих речовин	–	ТС 158, 193/SC 1, P	–	17.020*
156	Прилади для вимірювання маси, сили, деформації та визначення механічних характеристик матеріалів	–	–	–	17.040.30 17.060 17.100

Р – активний член, О – член-спостерігач;
код 17 за ДК 004 – «Метрологія та вимірювання. Фізичні явища» [6];
* код ДК 004, заявлений ТК при перереєстрації

Таблиця 2

Позначення ТК	Кількість ТК МОС	Кількість ТК РОС	Загалом
ТК 77	12	0	12
ТК 90	3	0	3
ТК 65	2	1	3
ТК 122	2	0	2
ТК 99	1	1	2
ТК 63	1	0	1
ТК 66, ТК 156	0	0	0
Загалом:	21	2	23

Таблиця 3

Позначення ТК*	Позначення ТК, з яким дублюється сфера діяльності*	Код згідно з ДК 004
ТК 63	ТК 146 (НП), ТК 122 (НП)	17.020
ТК 90	ТК 30 (НП), ТК 91 (НП), ТК 155	17.220
ТК 99 (НП)	ТК 79 (НП), ТК 123 (НП); ТК 135 (НП), ТК 79 (НП)	13.280 17.240 27.120
ТК 122 (НП)	ТК 145 (НП)	13.060.30
ТК 156	ТК 146 (НП)	17.060

* НП – означає, що положення ТК ще не приведені у відповідність до вимог Типового положення [1]

Дублювання сфери діяльності та об'єктів стандартизації ТК суттєво впливає на планування та ефективність його роботи, а також ускладнює ідентифікацію відповідального ТК у певній сфері діяльності. У подальшому це спричиняє виникнення конфліктних ситуацій не лише між ТК, а й з науково-дослідною установою, відповідальною за формування Плану національної стандартизації. Крім цього, під час визначення стандартів, які потребують першочергової гармонізації, фахівцям, які проводять експертизу, буває важко розподілити та закріпити стандарти між спорідненими ТК, сфера діяльності яких може дублюватись [5].

2. Оцінювання діяльності національних технічних комітетів

Для визначення ефективності діяльності ТК щодо впровадження міжнародних стандартів, розроблення національних стандартів і стандартів інших рівнів у працях [7 – 10] запропоновано використовувати певний узагальнений критерій оцінки цієї діяльності δ_{Σ}

$$\delta_{\Sigma} = a \cdot \frac{K_{DSTU_h}}{K_{\Sigma}} + b \cdot \frac{K_{DSTU}}{K_{\Sigma}} + c \cdot \frac{K_{SOU}}{K_{\Sigma}}, \quad (1)$$

де

K_{DSTU_h} – загальна кількість розроблених національним ТК гармонізованих ДСТУ;

K_{DSTU} – загальна кількість розроблених національним ТК ДСТУ;

K_{SOU} – загальна кількість розроблених національним ТК СОУ, ТУ;

K_{Σ} – загальна кількість розроблених національним ТК НД;

a – коефіцієнт вагомості гармонізованого ДСТУ для національної стандартизації;

b – коефіцієнт вагомості ДСТУ для національної стандартизації;

c – коефіцієнт вагомості СОУ, ТУ для національної стандартизації.

З урахуванням пріоритетів для національної стандартизації, встановлено три умовні рівні значення критерію ефективності діяльності ТК δ_{Σ} (від 0 до 1) щодо розроблення гармонізованих ДСТУ, ДСТУ та інших стандартів, які визначатимуть три рівні ефективності діяльності ТК для будь якої галузі або сектора економіки: «високий» ($\delta_{\Sigma} \geq 0,70$), «середній» ($0,70 > \delta_{\Sigma} > 0,30$), «низький» ($\delta_{\Sigma} \leq 0,30$).

Проведено оцінювання ефективності діяльності національних ТК у галузі метрології та приладобудування із застосуванням узагальненого критерію оцінки діяльності ТК δ_{Σ} з використанням формули (1). Враховуючи пріоритетність розроблення гармонізованих ДСТУ, коефіцієнт вагомості для національної стандартизації прийнято $a=1,00$, а інші коефіцієнти вагомості оцінені експертним шляхом на рівні: $b=0,30$; $c=0,05$ [10 – 12].

Оскільки у 2010 – 2012 рр. було відсутнє бюджетне фінансування на виконання робіт із гармонізації стандартів з міжнародними і регіональними, для оцінки використано дані звітності національних ТК у сфері метрології та приладобудування за 2009 р., коли роботи з розроблення гармонізованих ДСТУ були профінансовані з державного бюджету на 100%.

Застосувавши дані звітності національних ТК у сфері метрології та приладобудування за 2009 р. (окрім ТК 66, дані якого відсутні), розраховано значення критеріїв ефективності для цих ТК. У табл. 4 відображено розподіл національних ТК за

рівнями ефективності залежно від отриманого значення узагальненого критерію оцінки діяльності ТК δ_{Σ} . Практично всі ТК показали «високий» рівень ефективності (окрім ТК 65, який показав «середній» рівень ефективності), оскільки у своїй роботі надавали пріоритет розробленню гармонізованих ДСТУ і не розробляли СОУ і ТУ.

Таблиця 4

Позначення ТК	Загальна кількість НД, що розроблені ТК (у т. ч. ДСТУ/ДСТУ ISO, IEC, EN/COU, ТУ)	Значення узагальненого критерію оцінки діяльності ТК, δ_{Σ}	Рівень оцінки діяльності ТК
ТК 90	9 (0/9/0)	1,00	«високий»
ТК 99	33 (2/31/0)	0,96	
ТК 156	13 (3/10/0)	0,84	
ТК 122	41 (10/31/0)	0,83	
ТК 77	23 (8/15/0)	0,76	
ТК 63	280 (110/170/0)	0,73	«середній»
ТК 65	49 (32/17/0)	0,54	

Порівнявши дані ТК 90, який відновив роботу у 2006 р., і ТК 65, створеного у 1993 р., визначено, що ТК 90, розробивши лише 9 стандартів, які на 100% гармонізовані з міжнародними, отримав найвище значення узагальненого критерію оцінки діяльності ТК – 1,00. У той же час ТК 65, розробивши майже 50 НД, отримав нижче значення узагальненого критерію оцінки діяльності ТК, оскільки сконцентрував свою роботу на розробленні не гармонізованих ДСТУ.

ТК 77 і ТК 63 отримали практично однакове значення узагальненого критерію оцінки ефективності діяльності, 0,76 і 0,73 відповідно. Хоча, кількість НД, розроблених ТК 77 за період діяльності, у багато разів менша, ніж кількість стандартів, розроблених ТК 63 – 23 НД і 280 НД відповідно.

3. Впровадження національними технічними комітетами гармонізованих стандартів

На рисунку 1 відображено стан гармонізації національних стандартів з міжнародними і європейськими стандартами, розробленими ТК, які здійснюють свою діяльність у сфері метрології та приладобудування

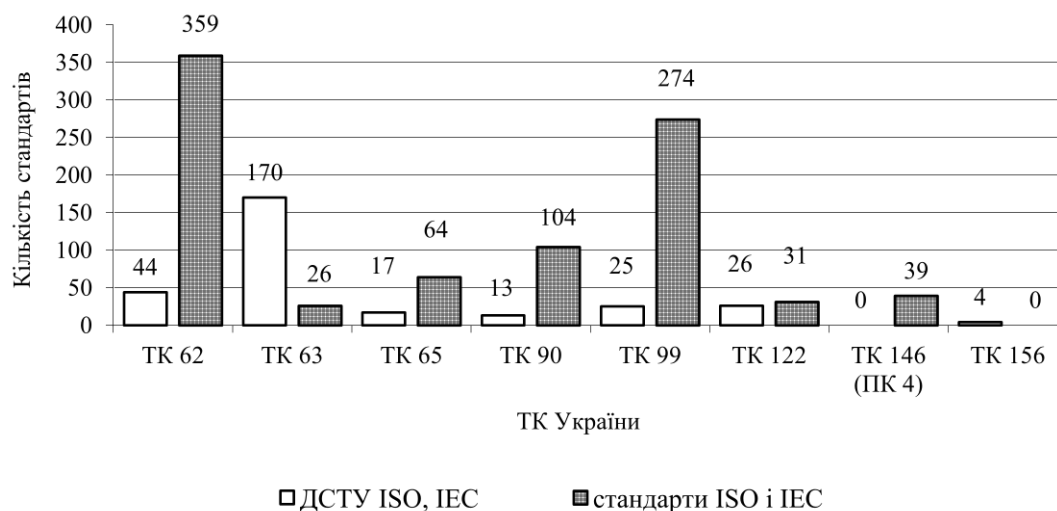


Рисунок 1 – Кількість стандартів, розроблених національними і міжнародними ТК у сфері метрології та приладобудування

Темпи впровадження міжнародних і європейських стандартів ТК у сфері метрології та приладобудування на національному рівні залишаються досить незначними незважаючи на зобов'язання України, що випливають із набуттям членства в СОТ. Це було передумовою започаткування переговорів із створення зони вільної торгівлі, забезпечення поступової інтеграції України до ЄС, підготовки до укладання Угоди про асоційоване членство, Угоди АСАА. Питання гармонізації національних стандартів з міжнародними і європейськими стандартами у сфері метрології та приладобудування досі залишається актуальним (лише 53 %), значна кількість стандартів ще не впроваджена в Україні. При цьому необхідно пам'ятати про періодичну актуалізацію, перегляд і заміну піддирективних стандартів з боку європейських органів в офіційному журналі ЄК, зокрема під директиву 2004/22/ЄС «Вимірювальні прилади».

Оскільки вимірювання використовуються практично у всіх видах діяльності, то не менш важливим є гармонізація основоположних стандартів у сфері метрології та приладобудування, зокрема міжнародного словника з метрології VIM [13 – 15], настанови щодо оцінювання невизначеності вимірювань GUM [16, 17], стандартів, які використовують для оцінювання відповідності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та акредитації випробувальних та калібрувальних лабораторій [18 – 24].

Зазначені міжнародні словники, керівництва і стандарти мають стати пріоритетом для ТК у сфері метрології та приладобудування, поряд з гармонізацією стандартів як доказової бази європейських директив. Такі НД мають гармонізува-

тися в національних стандартах (ДСТУ), так як вони є основою для метрологічної діяльності та діяльності з акредитації лабораторій в Україні. Без їх гармонізації неможна взагалі говорити про міжнародне визнання результатів випробувань продукції на національному рівні.

Висновки

Відсоток ТК у сфері метрології, які мають дублювання сфери діяльності, залишається доволі високим – 63%, однак ТК цієї сфери діяльності досить добре представлені у робочих органах МОС і РОС.

Запропонований узагальнений критерій оцінки діяльності національного ТК базується на врахуванні не тільки загальної кількості розроблених ТК НД, але й кількості розроблених ТК гармонізованих і не гармонізованих з міжнародними чи європейськими НД національних стандартів (ДСТУ), інших НД.

Таким чином, можна стверджувати, що запропонований підхід дає змогу об'єктивно оцінити діяльність ТК, незважаючи на тривалість його роботи та абсолютне значення кількості розроблених НД. Однак оцінювання діяльності ТК необхідно проводити комплексно з урахуванням усіх складових, які впливають на його роботу.

Список використаних джерел

1. Типове положення про технічний комітет стандартизації / Затв. наказом Держстандарту України від 20.05.2002 № 298, зареєстр. у Мін'юсті України 11.07.2002 за № 578/6866.
2. Гордієнко Т. Б. Деякі аспекти оцінки ефективності діяльності національних технічних комітетів стандартизації у 2008 – 2009 рр. / Гор-

дієнко Т. Б. // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2010. – № 2. – С. 4 – 9.

3. Гордієнко Т. Б. Оцінювання діяльності українських технічних комітетів стандартизації з застосуванням методу аналізу ієрархій / Гордієнко Т. Б. // Тези доп. 10-ї Ювіл. Міжнар. наук.-практ. конф. «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика». Ялта, 2010. – С. 36 – 38.

4. Гордієнко Т. Б. Методика оцінки ефективності діяльності технічних комітетів стандартизації із застосуванням методу аналізу ієрархій / Гордієнко Т. Б., Величко О. М. // Праці Першої наук.-практ. конф. «Інформаційно-вимірювальні технології, технічне регулювання та менеджмент якості». ОДІВТ, 16 грудня 2010 р. – Одеса, 2010. – С. 28 – 35.

5. Гордиенко Т. Б. Особенности деятельности технических комитетов международных и региональных организаций в области метрологии / Гордиенко Т. Б. // «Метрология 2009»: тезисы докладов Междунар. научно-практ. конф. – Минск: БелГИМ. – 2009. – С. 98 – 102.

6. Український класифікатор нормативних документів (ICS:2005, MOD): ДК 004:2008. – [Чинний від 2009.04.01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 104 с. (Національний класифікатор України).

7. Гордієнко Т. Б. Узагальнений критерій оцінювання ефективності діяльності національних технічних комітетів стандартизації / Гордієнко Т. Б. // I Міжнар. наук. конф. пам'яті професора Володимира Поджаренка «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС-2011), 21 – 24 вересня 2001, Вінниця, 2011. – С. 143.

8. Гордієнко Т. Б. Складові узагальненого критерію для оцінювання ефективності діяльності національних технічних комітетів стандартизації / Гордієнко Т. Б. // «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика»: тези доп. 11-ї Міжнар. наук.-практ. конф. – Ялта: АТМ України. – 2011. – С. 23 – 26.

9. Гордієнко Т. Б. Узагальнений критерій оцінювання ефективності діяльності національних технічних комітетів стандартизації / Гордієнко Т. Б. // I Міжнар. наук. конф. «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах»: тези доп. – Вінниця. – 2011. – С. 143.

10. Гордієнко Т. Б. Оцінювання ефективності діяльності технічних комітетів стандартизації в галузі приладобудування із застосуванням узагальненого критерію / Гордієнко Т. Б. // «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика»: тези доп. 13-ї Міжнар. науково-практична конференція «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика». – Ялта – Київ: АТМ України. – 2013. –

С. 35 – 37.

11. Gordiyenko T. B. Activity the technical committees standardization of international organizations in field of metrology / Gordiyenko T. B., Kolomiets L. V., Velychko O. M. // 36. наук. праць Одеської держ. академії технічного регулювання та якості. – 2012. – Вип. 1 (1). – С. 11 – 16.

12. Гордієнко Т. Деякі аспекти оцінювання діяльності національних технічних комітетів стандартизації у сфері метрології / Гордієнко Т., Величко О. // Метрологія та прилади. – 2011. – № 2. – С. 5 – 11.

13. ISO/IEC Guide 99:2007. International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM) [Text]. – [First edition 2007.12.15] – Published in Switzerland: ISO, 2007. – 92 p.

14. Velychko O. Features of the VIM application to the practical aspects of measurement / Velychko O., Gordiyenko T. // IMEKO TC1+TC7+TC13 Joint Symposium. – Jena, Germany. – 2011. – 7 p.

15. Величко О. Н. Проблемные вопросы целостности терминологических подсистем международного словаря по метрологии / Величко О. Н., Гордиенко Т. Б. // Системи обробки інформації. – Вип. 5 (79). – 2009. – С. 2 – 4.

16. ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995) [Text]. – [First edition 2008-10-01] – Published in Switzerland: ISO, 2008. – 120 p.

17. Величко О. Н. Современное состояние внедрения Руководства GUM в документах международных и региональных организаций / Величко О. Н., Гордиенко Т. Б. // Системи обробки інформації. – Вип. 4 (85). – 2010. – С. 7 – 10.

18. Величко О. Н. Нормативное обеспечение технических регламентов на средства измерений / Величко О. Н., Гордиенко Т. Б., Коломиец Л. В. // Стандарты и качество. – Москва. – 2011. – № 12. – С. 18 – 21.

19. Величко О. Н. Нормативное обеспечение технических регламентов на средства измерений, гармонизированных с европейскими директивами / Величко О. Н., Гордиенко Т. Б., Коломиец Л. В. // Электротехнические и компьютерные системы. – 2012. – № 06(82). – С. 178 – 187.

20. Величко О. М. Оцінювання відповідності засобів вимірювальної техніки та його нормативне забезпечення / Величко О. М., Гордієнко Т. Б. // Метрологія та прилади. – 2012. – № 4(36). – С. 31 – 38.

21. Величко О. М. Нормативне забезпечення статистичних методів обробки результатів лабораторних вимірювань / Величко О. М., Гордієн-

ко Т. Б. // Метрологія та прилади. – 2013. – № 2 II (40). – С. 42 – 48.

22. Velychko O. The estimation of the measurement results with using statistical methods / Velychko O., Gordiyenko T. // Journal of Physics: Conf. Series. – IOP Publication. – Vol. 588. – 2015. – 012017. – 6 p.

23. O. Velychko. The estimation of the measurement results with using statistical methods / Velychko O., Gordiyenko T. // IMEKO TC1-TC7-TC13 Joint Symposium Measurement Science Behind Safety and Security. – Madeira, Portugal. – 2014. – 5 p.

24. Величко О. М. Перевірка критичності даних міжлабораторних випробувань із застосуванням статистичних методів / Величко О. М., Коломієць Л. В., Гордієнко Т. Б. // Зб. наук. праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – Одеса: ОДАТРЯ. – 2013. – Вип. 1. – С. 14 – 21.

Надійшла до редакції 25.10.2015

Рецензент: д.т.н., професор Братченко Г. Д., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

О. Н. Величко, д.т.н., Т. Б. Гордиенко, к.т.н.

ОЦЕНИВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМИТЕТОВ СТАНДАРТИЗАЦИИ В СФЕРЕ МЕТРОЛОГИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Рассмотрены подходы к оценке деятельности технических комитетов по стандартизации в сфере метрологии и приборостроения, проанализировано сотрудничество с техническими органами международных и региональных организаций по стандартизации, состояние гармонизации нормативных документов и т. д. Представлены результаты оценки их деятельности в т.ч. с применением обобщенного критерия. Представлены результаты сравнительного анализа оценки деятельности национальных ТК в сфере метрологии и приборостроения.

Ключевые слова: технический комитет стандартизации, оценивание, критерий, метрология, приборостроение, международная организация стандартизации, региональная организация стандартизации.

O. M. Velychko, DSc, T. B. Gordiyenko, PhD

EVALUATION OF TECHNICAL COMMITTEE FOR STANDARDIZATION IN FIELD OF METROLOGY AND INSTRUMENTATION

The approaches to the evaluation of the Technical Committees of Standardization in the field of metrology and instrumentation are reviewed, analyzes cooperation with the technical bodies of international and regional organizations for standardization, condition of harmonization of documents and etc. The results of the evaluation of their activities including using generalized criterion are shows. The results of the comparative analysis of the evaluation of the national TK in the field of metrology and instrumentation are submitted.

Keywords: technical committee for standardization, evaluation, criteria, metrology, instrumentation, international organization for standardization, regional organization for standardization.

УДК 658.6

М. І. Сичов, к.х.н.

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

ЯКІСТЬ ТА ТОКСИКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ДИТЯЧИХ ІГРАШОК

У статті розглянуті питання безпеки дитячих іграшок з огляду на їх походження за матеріалами, з яких вони вироблені, особливостей хімічного складу таких сировинних матеріалів та їх впливу на здоров'я дітей, засоби убезпечення такого впливу на рівні законодавчих та санітарно-гігієнічних вимог України та міжнародних вимог, просвіти споживача.

Ключові слова: дитячі іграшки, призначення за віком, матеріали іграшок, пластичні маси, шкідливі домішки, санітарно-гігієнічні вимоги, хімічна токсикологія, ароматичні речовини, метали-токсиканти, сертифікація іграшок, методи аналізу хімічної безпеки іграшок.

Постановка проблеми в загальному вигляді полягає у розгляді проблем, які виникають при використанні іграшок за їх призначенням дітьми. Виникає питання: «Чому існують певні проблеми у використанні іграшок малюками, для яких споживач їх придбав?». Так, згідно даних фахівців Держспоживінспекції України, 60 % дитячих іграшок не відповідають вітчизняним стандартам і це має відношення не тільки до продукції, що реалізується на ринках або ж на сумнівних лотках, а й до тої, що є в супермаркетах і в спеціалізованих дитячих магазинах. У 2011 році зі 100 тисяч іграшок 55 % були вилучені з реалізації. Майже така ж картина спостерігається у всіх країнах пострадянського простору, які наповнені вщент сумнівною продукцією китайського виробництва [1, 2].

Аналіз досліджень та публікацій показують, що іграшки супроводжують життя людей з ранньої пори і до зрілого віку. Історія іграшок така ж давня, як і історія людства. Можна вказати на те, що іграшки мають свою появу одночасну з прогресом у стані організації людського буття. Іграшки відображали відношення людини до обставин навколо неї, до осіб інших племен та згідно рішення тих проблем, які виникали у побутових умовах. Звичайно, що перші іграшки людей були виготовлені з матеріалів, які були супутні в той час людині – це рослинні і мінеральні матеріали, які несли на собі певні змістові ознаки і не мали загрози для життя тодішніх малюків первісних племен. Виробництво дитячих іграшок та перелік матеріалів для них не змінювались в період майже до XX-го століття, коли сировиною для виробництва іграшок слугували тільки природні сировинні матеріали (дерево, мінерали, фарби природного походження). На протязі багатьох століть іграшки відображали своєрідність духовного життя людей своєї епохи і мали значне виховне значення. Звичайно ж, іграшки в різні часи мали і гендерні відмінності, що втілювалося в їх форми, зміст і матеріали як для хлопчиків, так і для дівчаток, в чому досить прискіпливо виражалось їх виготовлення та застосування. Народна іграшка являлась специфічним утвором як фантазії творця, так і наслідуванням суто національних і побутових традицій кожного народу. Звичайно, що в ті часи не йшла мова про так звану екологічну чистоту матеріалів іграшки, їх загрозу здоров'ю дітей, бо вони були виготовлені з суто супутніх природних матеріалів, які були поряд з людьми. Згодом з'явилися не тільки паперові та дерев'яні іграшки, а й порцелянові, фаянсові та гумові, а пізніше, ближче до середини 20-го століття і пластикові. В часи Радянського Союзу в Україні існувало близько 400 підприємств, які виготовляли

дитячі іграшки. Іграшки мають відповідне призначення, функції, форму і зміст. Іграшки повинні розвивати сприйняття навколишнього світу, мислення дитини, навички поводження з предметами навколишнього світу та в сім'ї. Та, насамперед, іграшки повинні бути безпечні для дитини. Призначення іграшки повинно відповідати віку дитини та її розумовим здібностям – від 18 місяців до 3 років, від 3 до 6 років, від 6 до 10 років та від 10 до 14 років включно. Кожному віковому діапазону дитини повинні відповідати й її іграшки, що пов'язані як з матеріалами, так і з конструкцією іграшки та її функціональними й ігровими особливостями.

Мета дослідження полягає в тому, щоб обґрунтувати шляхи забезпечення безпечності іграшок щодо матеріалів, з яких вони виготовлені, особливо для дітей у ранньому віці, коли існує ймовірність неконтрольованого тілесного контакту дитини та іграшки.

З огляду на найбільшу небезпеку, що несуть в собі матеріали іграшки, слід відрізнити їх за складом і походженням. Найбільший ризик виникає не від механічних недоліків, а від матеріалів іграшки, різноманіття яких в наші часи дуже поширене. Звичайно, що іграшки, які виготовлені з натуральних природних або споріднених з ними матеріалів, не викликають занепокоєння через відсутність їх токсикологічного впливу на дітей. Обмеження відносяться до матеріалів іграшок, бо вони повинні відповідати віку дитини та способу контакту її з іграшкою.

Завданням дослідження є аналіз тих хіміко-токсикологічних небезпек, які несуть в собі матеріали іграшок для здоров'я малюків та реалізації положень санітарно-гігієнічних вимог в Україні, проведення сертифікації (процедури відповідності) та роботи органів ринкового нагляду.

Найменш небезпечними вважаються іграшки, що виготовлені з пластмас: полістиролу, поліетилену, поліпропілену, дакрилу, сесвіліну, капрону, поролону, амінопластів, вінілскожі, фторолону, целофану, гуми, каучуку. В асортименті дитячих іграшок, які реалізуються в Україні, пластичні маси займають 40 %. Та, незважаючи на можливості застосування і дозволу на ті або інші пластмаси, основна токсикологічна небезпека виробів з них полягає в тому, що при виготовленні іграшок в пластик додають хімічні речовини і сполуки металів, що сприяють їх розм'якшенню, пластифікації. Найбільш небезпечними є сполуки стибію, арсену, барію, кадмію, хрому, свинцю, ртуті, селену. Ці хімічні елементи (токсиканти) попадають в іграшки не тільки з пластмасами, але, здебільш, з яскравими фарбами і покриттями, в яких кольоровими піг-

ментами можуть бути солі хрому, кадмію, міді, селену, нікелю, ртуті, арсену, стибію. Сполуки так званих «важких» металів токсичні з різних причин [2]. Так, сполуки арсену викликають ураження шкіри, гіпертонію, зниження розумових здібностей. Стибій вважається канцерогеном. Сvineць відомий як нейротоксин. Кадмій же відносять до канцерогенів. Сполуки ртуті є високотоксичними речовинами, що вражають нервову систему, порушують рухомі функції та впливають на склад крові. Нажаль, хімічний склад не входить в обов'язковий перелік ознак небезпеки при маркуванні іграшок. Фахівці вважають найбільш розповсюдженою небезпекою, з якою стикаються діти, це неякісний пластик, а саме «пластизоль» [3]. Неякісні іграшки виділяють летючі речовини-пластифікатори, метанол, фенол, етилацетат, дибутилацетат, толуол, етилбензол, формальдегід та ароматизатори. Виробництво пластмас – складний хіміко-технологічний процес. Для досягнення пластичності іграшок, стійкості до дії світла, вологи, температури в пластмаси вводять стабілізатори і пластифікатори, з яких розповсюджені естери органічних та неорганічних кислот, а також фталати, продукти нафтопереробки; самі фталати відносять до небезпечних хімічних речовин. Заборонено вживати диетилгексафталат і бутиленбензилфталат, що є токсичними речовинами, які легко вивільнюються [3]. Такі іграшки поширені на ринках України, Росії, Казахстану і країн Середньої Азії, що сусіджують з Китаєм, виробником і постачальником неприйнятних іграшок [3]. Підвищення температури води і повітря сприяє виділенню фталатів з матеріалу іграшок. Окрім фталатів, в якості пластизолів використовують і феноли, як антиоксиданти. Не допускається вміст будь-яких кількостей фенолу в іграшках, який є лідером серед хімічних забруднювачів в іграшках з полідівінілхлориду. Широке розповсюдження набули іграшки із полістиролу і, хоча багато-хто вважає його безпечним, треба мати на увазі, що при його виробництві процес полімеризації стирулу йде тільки на 97 – 98%. Це ж означає, що з іграшок під впливом води, тепла і світла виділяється стирул, який відноситься до речовин другого класу небезпеки, що впливають на нервову систему, кровотворення та дію органів травлення.

Поліпропилен стійкий до кип'ятіння, але не витримує низьких (– 5...–15 °C) температур, тому до його складу вводять етилен, каучук. Поліпропилен чутливий до дії світла і кисню. Таким чином, хоча іграшки з пластикових полімерів і вважаються безпечними для дітей, треба зважати на умови їх застосування, наявність шкідливих ароматів і стану поверхні іграшки.

Основним матеріалом дослідження є дані результатів роботи випробувальних центрів щодо вмісту токсичних сполук в іграшках, положення вимог правових і нормативних актів, законодавчих положень щодо забезпечення шкідливого впливу неякісних іграшок та їх матеріалів на здоров'я дітей.

Положення Технічного регламенту безпечності іграшок встановлюють вимоги до іграшок та їх обігу в Україні [4]. Згідно вимог регламенту, хімічні речовини іграшок не повинні нести загрозу для дітей. Додаток 2 до регламенту містить вимоги щодо безпечності іграшок, в тому числі і по хімічному складу. Виділено особисто перелік 55 алергенних ароматичних речовин, яких не повинні містити іграшки. Також в Україні з 1 березня 2008 року діє Національний стандарт ДСТУ EN71-3:2005, ідентичний EN71-3:1994 Safety of toys – Part 3: Migration of certain elements із змінами A1:2000 (Безпека іграшок. Частина 3. Міграція певних елементів) [5], що входить до переліку стандартів, добровільне застосування яких є доказом відповідності продукції вимогам технічних регламентів. Згідно цього стандарту, випробування на безпеку по вмісту при міграції хімічних елементів Sb, As, Ba, Cd, Pb, Hg, Se проводяться не тільки для іграшок, але й для різних матеріалів (тканини, папір, фарбовані покриття, матеріали для ліплення, самі фарби і порошки) в умовах контакту дітей з такими. Нормативи даного стандарту суттєво вищі нормативів нової директиви Європейського Союзу щодо безпеки іграшок (Директива 2009/48/ЄС від 18.06.2009 р.), яка вступила в силу 20.07.2011р. [6]. Проблемою є те, що за останні роки на ринку з'явилась велика кількість нових фарбників, матеріалів і речовин, для пошуку яких не готові українські органи з оцінки відповідності, ринкового нагляду і випробувальні лабораторії. Але робота Держспоживінспекції показала, що і в цьому стані 47,1% іграшок взагалі не мали свідоцтв щодо їх якості і безпеки [1]. Експерти констатують: більша частина неякісних і небезпечних іграшок надходить з Китаю. Та, незважаючи на всі кроки забезпечення дитячих товарів, жорсткі нормативи щодо вмісту токсикантів і вимог при експорті таких товарів, в Україні не існує єдиної системи, яка може гарантувати безпеку дитячих товарів та іграшок зокрема. Кожна партія іграшок повинна мати супровідну документацію, сертифікат походження, санітарно-гігієнічний висновок згідно вимог [4 – 7]. Важливе значення має і наявність інформації у виді маркування на іграшках, а також наявність національного знаку відповідності України.

Порівнюючи ситуацію, яка склалася з іграшками в Росії, Білорусії, Казахстані і в Європі, мо-

жна стверджувати, що найбільш позитивна ситуація існує в Європі. Ще в 2003 році Європейська Комісія прийняла до розгляду пропозиції по новій системі «...регулювання виробництва, розміщення на ринку і використання хімічних речовин, як самих по собі, так і в сумішах і в складі виробів. Система одержала назву REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals – Реєстрація, Оцінка, Дозвіл, і обмеження Хімічних речовин...)» [3]. Відповідальність за реалізацію REACH покладено на Європейське Хімічне Агентство (Гельсінкі).

В Україні контроль вимог та норм безпеки іграшок здійснюється згідно Державних санітарних правил і норм ДСанПін 5.5.6.012-98, в яких зазначені всі вимоги і порядок проведення державної санітарно-гігієнічної експертизи на етапах розробки, виробництва, зберігання, реалізації і методів досліджень всього асортименту іграшок для дітей і підлітків [7]. Вимоги ДСанПін 5.5.6.012-98 є обов'язковими для проведення сертифікації іграшок, здійснення процедури відповідності Технічному регламенту, в контролі органами ринкового нагляду та у випробувальних лабораторіях і Центрах. Сертифікація іграшок на ринках Європейського Співтовариства (ЄС) дещо відрізняється від положень процедури визнання відповідності в Україні і в інших пострадянських країнах. Виготовлення і обіг дитячих іграшок в ЄС визначає директива 2009/48/ЄС щодо безпеки іграшок, яка набрала чинності 20.07.2011 року, положення про хімічний склад набрало чинності з 20.07.2013 року [6]. Ця Директива посилює вимоги по виготовленню іграшок та відповідальність за виготовлення і реалізацію небезпечних для здоров'я. Всі іграшки на ринках ЄС повинні мати маркування ЄС і відповідати гармонізованим стандартам і Директивам ЄС. В Україні до контролю безпеки іграшок долучилась громадська організація Всеукраїнська екологічна громадська організація «МАМА-86» (ВЕГО «МАМА-86»), яка почала з 2012 року роботу в партнерському проекті «Хімічна безпека іграшок для дітей» [3, 8]. Цей проект реалізується в шести країнах Східної Європи, Кавказу і Центральної Азії (СЕКЦА). В проекті приймають участь: IPEN (Міжнародна мережа неурядових організацій, які працюють в області хімічної безпеки у восьми регіонах світу), GRID – Arendal, «Еко-Згода» (Росія), «Здоров'я і здорове навколишнє середовище» (Вірменія), «МАМА-86» (Україна), ЦЕНТР Екологічних рішень (Білорусія), Greenwomen (Казахстан), Асоціація журналістів-екологів Союзу журналістів Росії. Генеральний інформаційний партнер проекту – РІА «Новості». Наприкінці 2012 року пройшло широкомас-

штабне тестування більше 568 дитячих іграшок, відібраних в цих країнах на вміст в них свинцю, ртуті, кадмію, стибію, арсену і хрому. Методами рентгено-флуоресцентної спектроскопії було виявлено перевищення вмісту вказаних елементів-токсикантів. Хоча законодавство і санітарні вимоги країн СЕКЦА достатньо розвинуті, вимоги хімічної безпеки не контролюються на регулярній основі. Прийняття нового Технічного регламенту безпеки іграшок від 11.07.2013р. (Постанова Кабміну України № 515) [4] і Національний стандарт ДСТУ EN71-3:2005 [5] повинні підвищити рівень вимог безпеки іграшок.

Висновки

Діти є найбільш вразливою частиною людського соціуму. Багато які негативні дії на них – токсичні речовини з іграшок, неякісна їжа та несприятливе середовище призводять до негативних наслідків, які даються взнаки або ще в дитинстві, або у більш зрілому віці. Ми все частіше стикаємося з проявами складних захворювань дітей, яких не знали раніше і в цьому можуть бути повинні і неякісні дитячі товари, іграшки. Тому держава на рівні регуляторних заходів, розробки нових положень безпеки дитячих товарів приймає рішення, які повинні мінімізувати подібні ризики. Та чи все залежить від положень законодавчих актів в області безпеки дитячих товарів? Відповідь є однозначною – ні! До цього питання повинні бути долучені представники органів влади, перш за все митні органи, ринковий нагляд і санітарно-гігієнічні установи, органи захисту прав споживачів. Сама реалізація дитячих товарів, в тому числі і іграшок, повинна проходити винятково через спеціалізовану торгову мережу і її магазини. Потрібна і просвітницька робота для споживачів, які повинні робити вибір іграшок за критеріями безпеки та наявності документів і відповідного маркування. Несертифікована продукція повинна вилучатися, а реалізатори її позбавленні прав її продавати або ж ввозити в Україну. Нам потрібна повна гармонізація з європейськими нормами щодо дитячих іграшок а не просто черговий, перероблений і доповнений старий технічний регламент, документ змісту європейської Директиви 2009/48/ЄС щодо безпеки іграшок. З початку 2012 року кожна іграшка повинна мати Декларацію відповідності [4] та маркування – наявність національного знаку відповідності, інформацію про рекомендований вік дитини, яка користується такою іграшкою, про наявність кількості токсичних та небезпечних речовин. Повинна бути прийнята національна програма щодо безпеки дитячих іграшок і матеріалів, та проводитись наполеглива робота ринкового

нагляду і мережі спеціалізованих незалежних лабораторій (випробувальних центрів).

Список використаних джерел

1. Более 50% детских игрушек, продающихся в Украине, не соответствуют стандартам. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fakty.ua/categories/consumer-club>.

2. Детские игрушки, свободные от токсичных веществ: проблемы и перспективы в Украине [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.epochtaimes.com.ua/ru/> проект «Мама».

3. Безопасность пластиковых игрушек. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.toyinbox.ru.2013>.

4. Про затвердження Технічного регламенту безпечності іграшок. Постанова Кабінету Міністрів України від 11 липня 2013 року № 515. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: zakon2.rada.gov.ua/laws/show/515-2013/card2.

5. Національний стандарт України ДСТУ EN71-3:2005. Безпечність іграшок. Частина 3. Міграція певних елементів. Чинний від

01.03.2008. – Наказ Держспоживстандарту України від 02.12.2005, № 345. – 10 с.

6. ДИРЕКТИВА 2009/48/ЄС Совета о гармонизации законодательства государств – членов относительно безопасности игрушек (Брюссель, 20 июля 2011 года). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ce-mark.com.ua/ru/index.php/>.

7. Державні санітарні правила і норми безпеки іграшок та ігор для здоров'я дітей. ДСанПіН 5.5.6.012-98. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: environments.land-ecologe.com.ua/zakon/18-sanitarnye-pravila-i-normy.html.

8. Игрушки без токсичных веществ – гарантия безопасности детей. Обзор. – Казахстан. – Алма-Аты. – 2012. – 30 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.time.kz/index.php?module=news&newsid=1453>.

Надійшла до редакції 24.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф. Боряк К. Ф., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

М. И. Сычев, к.х.н.

КАЧЕСТВО И ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕТСКИХ ИГРУШЕК

В статье рассмотрены вопросы безопасности детских игрушек с точки зрения их происхождения, материалов и технологии изготовления, особенностей химического состава сырьевых материалов, их влияния на здоровье детей, средства исключения токсикологического влияния на уровне законодательных и санитарно-гигиенических требований Украины и международных требований, просвещения потребителей.

Ключевые слова: детские игрушки, назначение по возрасту, материалы игрушек, пластические массы, вредные вещества, металлы-токсиканты, ароматические вещества, санитарно-гигиенические требования, сертификация игрушек, методы анализа химической безопасности игрушек.

М. I. Sychev, PhD

QUALITY AND TOXICOLOGICAL SAFETY OF TOYS

The questions of safety of children's toys from the point of view of their origin, of materials and manufacturing technology, the characteristics of the chemical composition of raw materials, their impact on children's health, the means of exclusion of toxicological effects on the level of legal and sanitary requirements of Ukraine and international regulations, consumer education.

Keywords: children's toys, the purpose for age, materials, toys, plastics, hazardous substances, metal-toxicants, fragrances, hygiene requirements, sertifikatsiya toys, methods of analysis of chemical safety of toys.

О. І. Кисельова, к.пед.н., Л. В. Коломієць, д.т.н.

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТИВНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ЗНАНЬ У ВИЩІЙ ОСВІТІ

У статті досліджуються шляхи забезпечення об'єктивності вимірювання знань у вищій освіті, визначено і науково обґрунтовано основні критерії надійності тесту та умови його об'єктивності; проаналізовано характеристики освітніх вимірювань: процедурну, класичну і інваріантну об'єктивність, а також сучасну теорію конструювання тестів IRT та її найбільш значимі переваги; досліджено аспекти і специфіку застосування шкал вимірювання знань (п'ять типів), і визначено, які з них найбільш придатні для освітніх вимірювань та забезпечення найбільшої об'єктивності вимірювання.

Ключові слова: об'єктивність освітніх вимірювань, шкали вимірювань, валідність, надійність, об'єктивність тесту, тестовий бал.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Актуальність дослідження визначається потребою введення не тільки кількісних, але і якісних оцінок вимірювання знань студентів сучасних ВНЗ, оскільки при вимірюванні знань, на відміну від вимірювання фізичних величин існують інші показники, що відрізняються за ступенем прояву тієї або іншої властивості й які теж піддаються вимірюванню. Зв'язок між кількісними і якісними оцінками встановлюється на основі традиційно сформованого поділу їх на дві групи: оцінки, що класифікують (порівняльні оцінки) відносять до категорії якісних, а метричні – до кількісних. Процес освітніх вимірювань складається із сукупності операцій, що дозволяє одержати кількісні або якісні оцінки вимірюваних характеристик, при цьому виникає основне питання: забезпечення об'єктивності оцінювання при вимірюванні знань, що і є основною метою даного дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Учені (Ф. Бекер, Л. Джуелл, Л. Кроккер та ін.) освітні вимірювання трактують як конструювання будь-якої функції, що здійснює ізоморфне відображення деякої емпіричної структури у відповідним чином підбрану числову структуру, яка представляє собою шкалу оцінок якості навчальних досягнень або інших конструктів, що є метою вимірювання [2, 10, 11].

Завдання дослідження:

1) визначити і науково обґрунтувати основні критерії надійності тесту та умови його об'єктивності;

2) проаналізувати характеристики освітніх вимірювань: процедурну, класичну (традиційну) і інваріантну (специфічну) об'єктивність, а також сучасну теорію конструювання тестів Item Response Theory і її найбільш значимі переваги;

3) дослідити й визначити шкали вимірювання знань, які мають забезпечити найбільшу об'єктивність вимірювання.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Вимірювання – це приписування оцінок результатам спостережень у відповідності з певною системою, такий як, наприклад, тест. Основними критеріями оцінки адекватності тесту як вимірювального інструмента є надійність (сталість результатів вимірювань) і валідність (обґрунтованість висновків, отриманих з результатів тесту). Процес оцінки надійності та валідності може бути тривалим і дорогим; дослідники можуть зіткнутися з різними ситуаційними труднощами і обмеженнями. Сучасні аналітичні методи дозволяють переносити доведення валідності деяких видів тестів, встановлені для однієї роботи, на інші види робіт [2, с. 14 – 15, 21].

Відображувальна функція трактується ученими (В. С. Аванесов, В. І. Звонніков, П. Клайн, М. Б. Челишкова та ін.) досить узагальнено, оскільки дозволяє встановлювати різні, не тільки кількісні відносини між об'єктами, але й проводити будь-які, у тому числі якісні оцінки. Під процедурою вимірювання розуміють сукупність емпіричних операцій, що дозволяє встановити оцінки вимірюваних характеристик і представити їх у кількісній або якісній шкалі. Оскільки емпірична структура й побудована за результатами оцінювання, числова структура (шкала) ізоморфна, то, маючи шкалу, можна, не звертаючись безпосередньо до вимірюваних об'єктів, відновити всі їхні властивості, характерні для емпіричної структури.

Процес освітніх вимірювань складається із сукупності операцій, що дозволяє одержати кількісні або якісні оцінки вимірюваних характеристик. Правильна організація процесу освітніх вимірювань дозволяє уникнути порушення стандартизованих умов проведення, обробки, аналізу й інтерпретації результатів, надає обґрунтованість і точність одержуваним оцінкам. Наведені компоненти процесу вимірювання мають свої аналоги в традиційному контролі, де ці процедури носять інтуїтив-

ний характер і ґрунтуються на емпіричному досвіді педагога. При тестуванні кожен компонент проходить процес аналізу й наукового обґрунтування якості, що базується на теорії освітніх вимірювань. Це важливо при підсумковому контролі, результати якого пов'язані із прийняттям важливих адміністративних рішень при атестації випускників або оцінці ефективності діяльності навчальних закладів. Тоді об'єктом вимірювання стають знання, уміння, навички (далі ЗУН) й компетенції, які інколи узагальнюють терміном «навчальні досягнення», структуру й рівень сформованості яких порівнюють із вимогами навчальних програм при прийнятті атестаційних рішень.

Існування помилок при вимірюванні і оцінюванні ЗУН і компетенцій зумовлюються змінними вимірювання. Тому, доцільно говорити про надійні або ненадійні способи освітніх вимірювань, де надійність характеризує ступінь стійкості (повторюваності) і точності результатів вимірювання. Інша характеристика якості результатів освітніх вимірювань називається валідністю, загалом її трактують, як адекватність емпіричних результатів поставленій меті вимірювання [5, 6, 8, 13].

Основна умова при проведенні тестування, як основної форми освітніх вимірювань, – його об'єктивність. В індустріально-організаційній психології зустрічається безліч визначень, а також кілька складних статистичних моделей об'єктивності тесту (наприклад, Anastasi, 1989; Millsap; Everson, 1993; Sackett; Wilk, 1994). Однак суть питання можна сформулювати досить просто. Відповідно до теорії необ'єктивності тесту, «навіть за умови рівності коефіцієнтів валідності для груп меншин і для групи більшості тест швидше за все є необ'єктивним, якщо середній результат для груп меншин нижче» (Schmidt; Hunter, 1981).

Шмідт і Хантер, більше того, відзначають, що теорія необ'єктивності тесту базується на припущенні про те, що каузальні чинники, якими зумовлені низькі результати тестування груп меншин, не пов'язані з виконанням роботи. Хоча деякі дослідники виявили, що відмінності у виконанні письмової підсумкової / рубіжної роботи (контрольної роботи, екзамен тощо) менші, ніж відмінності в результатах тестів (наприклад, Ford, Kraiger; Schechtman, 1986), що призвело до виникнення припущення про те, що результати тестування не пов'язані з результатами виконання роботи, суперечить основній масі фактів.

Виконання письмової підсумкової / рубіжної роботи залежить від багатьох факторів. Проте, в цілому відмінності в ЗУН, які виявляються за допомогою тестів, пов'язані з відмінностями у виконанні підсумкової / рубіжної роботи так само,

як вони пов'язані з розходженнями в шкільній успішності (Neisser et al., 1990); вони існують насправді, а не з'являються за рахунок «необ'єктивних» тестів. Це означає, що тести, які виявляють такі відмінності, виконують завдання, для якого вони були призначені – оцінюють відмінності між студентами / учнями. Спроби розробити і використовувати такі тести, завдяки яким ці відмінності зникнуть, приведуть до нівелювання змісту тестування, воно дублюватиме класичні форми контролю, а отже стане безцільним і марним.

Тести самі по собі не є ні об'єктивними, ні необ'єктивними. Вони просто більш-менш добре вимірюють ті характеристики, для яких вони призначені; іншими словами, вони більш-менш надійні і валідні. В результаті, деякі з них з більшою ймовірністю, ніж інші, можуть бути використані необ'єктивно. Робота над вдосконаленням тестів і методів їх використання постійно ведеться ученими [2, с. 39 – 40].

На ранніх етапах історії розвитку освітніх вимірювань об'єктивність уважали невід'ємною характеристикою результатів тестування, оскільки стандартизована перевірка результатів виконання тестів виключала педагога з оцінного процесу. Розвиток теорії й практики застосування тестів довів, що абсолютна об'єктивність – це недосяжна характеристика результатів будь-яких, у тому числі й освітніх вимірювань у силу існування неминучих помилкових компонентів. На результати вимірювань впливають різні фактори випадкового й систематичного характеру, які неминуче впливають на величину помилкових компонентів, змінюючи їх як у бік збільшення, так і зменшення. Тому в оцінних процесах можна лише говорити про високу або низьку об'єктивність, оцінка якої заснована на виявленні надійності результатів освітніх вимірювань.

На думку вітчизняних і зарубіжних учених (В. І. Звонніков, Л. Лінн та ін.), найбільш повно трактування терміна «об'єктивність вимірювання» представлено в дослідженнях Вебстера [4, 13]. Він був першим ученим, що здійснив методологічні дослідження в цій галузі й запропонував вісім тлумачень обговорюваного терміна, три з яких безпосередньо характеризують освітні вимірювання: процедурна об'єктивність, класична (традиційна) об'єктивність і інваріантна (специфічна) об'єктивність.

Процедурна об'єктивність – це незалежність результатів вимірювання від умов його проведення й суб'єктивних оцінних суджень педагога, що використовує тест. Ця незалежність забезпечується завдяки рівності умов тестування для всіх студентів, відсутності списування або інших по-

рушень дисципліни, правильному інструктуванню студентів, використанню для однієї групи тестованих паралельних (однакових за складністю та іншими характеристиками) варіантів тесту, стандартизації процедури перевірки результатів і максимальної її автоматизації. Чим вище рівень залучених комп'ютерних технологій у тестуванні, що виключають суб'єктивний вплив педагога або експертів, тим більша величина процедурної об'єктивності результатів тестування, одержуваної при вимірюванні. Проте, це не значить, що перехід від традиційної системи оцінювання знань до тестування автоматично забезпечить об'єктивність отриманих даних, оскільки при такому підході не висувається ніяких вимог до якості тесту.

Аксіоми традиційної / класичної теорії тестування засновані на поглибленому розумінні об'єктивності вимірювання. До них належать: сирий (спостережуваний, індивідуальний) бал, одержуваний простим підсумовуванням результатів випробуваного за окремими завданнями тесту. При дихотомічній оцінці результатів по завданнях (1 або 0) індивідуальний бал просто дорівнює кількості правильно виконаних завдань тесту. Інше поняття класичної теорії – істинний бал (параметр випробуваного) – ототожнюється з абсолютно об'єктивною оцінкою випробуваного, вільною від впливу будь-яких помилок вимірювання. На відміну від спостережуваного бала, що міняється залежно від тесту й способу підрахунку результатів випробуваного, істинний бал трактується як незалежна від засобів вимірювання константа учня / студента, що характеризує оцінювану властивість випробуваного в момент вимірювання з нульовою помилкою вимірювання й змінна в процесі навчання [5].

Відповідно до основної аксіоми класичної теорії тестів, передбачається, що будь-який спостережуваний бал відрізняється від істинного на величину помилки вимірювання. Якщо помилка вимірювання не перевищує обрані межі точності вимірювань – це свідчить про високу об'єктивність результатів тестування, тоді приймаються індивідуальні бали випробуваних за їхні істинні бали. Отже, поглиблене розуміння об'єктивності вимірювання вимагає оцінювання величини помилки вимірювання, на розмір якої впливають не тільки умови проведення тестування, але й характеристики самого тесту. Ці характеристики мають задовольняти певним вимогам до якості вимірювання, і не перевищувати припустиму погрішність тесту, що забезпечує високу об'єктивність отриманих результатів виконання тесту.

Ще одне трактування об'єктивності лежить в галузі сучасної теорії конструювання тестів

Item Response Theory (IRT) [12].

Item Response Theory (IRT) – англійська назва теорії, використовуваної переважно в освітніх, педагогічних і психологічних вимірюваннях, статистичних дослідженнях. Закордоном існують десятки тисяч наукових досліджень з IRT, виникла ефективна практика створення тестів, на її основі створюються адаптивні навчальні й контролюючі системи багатьох університетів і країн. IRT перекладається деякими авторами як «теорія тестових завдань», в інших наукових джерелах це – «теорія латентних рис», «теорія характеристичних кривих завдань», «теорія моделювання й параметризації педагогічних тестів», «сучасна» теорія тестів», але найчастіше (IRT) зустрічається в професійній літературі у вигляді англійської абревіатури. Таке неоднозначне трактування свідчить про досить неоднозначне розуміння самих її вихідних теорій і положень [12, 14].

IRT призначена для оцінки прихованих якостей випробуваних і параметрів завдань тесту за допомогою застосування математико-статистичних моделей вимірювання. Основним в IRT є припущення про існування зв'язку між спостережуваними результатами тесту й латентними якостями випробуваних, які звичайно трактуються як здібності, або рівень підготовки [12]. Основна ідея IRT – вимірювана властивість (якість, здатність або знання) відображається на одній шкалі разом із труднощами завдань – подібно тому, як на одній шкалі вага у ході фізичних вимірювань відображається й вага гирі (еталона), і вага предмета, що зважується. Труднощі завдання при цьому є аналогом «гирі» (еталона). Якщо здібність «важча», чим труднощі завдання, то випробуваний імовірно впаде в поразку, чим не впаде в поразку.

Найбільш значимими перевагами IRT є:

1) стійкість і об'єктивність оцінок параметра, що характеризує рівень підготовки випробуваних, джерелом цієї стійкості є відносна стійкість оцінок здатностей (знань) випробуваних до труднощів завдань тесту.

2) Стійкість і об'єктивність оцінок параметра складності завдання, їхня незалежність від властивостей вибірки випробуваних, що виконують тест.

3) Можливість вимірювання значень параметрів випробуваних і завдань тестів в одній і тій же шкалі, що має властивості інтервальної. Ця властивість важлива тому, що перетворення вихідних величин різного походження в одну вихідну шкалу дозволяє співвіднести рівень знань будь-якого випробуваного з мірою труднощів кожного завдання тесту.

За допомогою IRT можна спрогнозувати ймовірність правильного виконання завдань тесту будь-яким випробуваним до пред'явлення те-

сту групі, виявити ефективність різних за труднощами завдань, використовуваних для оцінки знань або здатностей, що відрізняють підготовку учнів групи, що тестується [1, с. 15 – 16].

Узагальнення результатів досліджень учених (В. С. Аванесов, Ф. Б. Бекер, В. І. Звонніков, М. Б. Челишкова та ін.) свідчать, що переваги IRT дозволяють оцінити підготовленість студентів незалежно від труднощів завдань тесту, забезпечують досягнення, так званої, інваріантної об'єктивності вимірів, що перевищує об'єктивність, забезпечувану при використанні класичної теорії тестів [8 – 10, 14].

Якісні оцінки завжди бувають менш точними порівняно з кількісними в силу способів і інструментів, застосовуваних для їхнього одержання. Наприклад, на усному іспиті поняття, що класифікують (знаючий, атестований, підготовлений або «відмінно», «добре», «задовільно» та ін.) визначаються суб'єктивно за допомогою суджень екзаменатора й містять у собі, як правило, значний помилковий компонент. Оскільки ці судження приймаються за оцінювані характеристики об'єктів, то їх треба вміти розпізнавати, ототожнювати, порівнювати, абстрагувати й узагальнювати [7].

Для зручності оцінки судження виражають у вигляді балів за традиційною п'ятибальною шкалою або за будь-якою іншою, яка обирається на основі експертних угод. Приписувані числа можуть бути не цілком точні в тих випадках, коли для побудови якісних шкал не використовуються міри. Наприклад, при традиційному контролі в кожного викладача є свої уявлення про те, за що потрібно ставити 5, 4, 3 і т.д.

Розглянемо шкали вимірювання знань, які мають забезпечити найбільшу об'єктивність вимірювання. Звісно, найчастіше вимірюють фізичні об'єкти, а знання й освітні рівні більш складні поняття, з багатьма змінними й факторами, що впливають на процес і результат вимірювання. У теорії вимірювання розрізняють п'ять типів шкал: шкали найменувань, порядку (рангу), інтервалів (відмінностей), відносин і абсолютна шкала.

1. **Шкала найменувань** – найпростіший тип шкал, заснований на приписуванні об'єкту цифр або знаків, що відіграють роль простих імен [7, с. 39].

У них відсутнє поняття нуля, більше або менше й одиниці вимірювання – таку шкалу доцільно використовувати при вимірюванні фізичних величин.

2. **Шкала порядку** (рангу) – розташовані в порядку зростання або убуття розміри вимірюваної величини. Отриманий при цьому впорядкований ряд називається ранжируванням рядом, а сама процедура – ранжируванням [7, с. 45 – 46]. Ранжируваний ряд може дати відповідь на

питання типу «що більше або менше» або «що краще або гірше». Більш повну інформацію – наскільки більше або наскільки менше шкала порядку дати не може. Результати оцінювання за шкалою порядку не можуть піддаватися ніяким арифметичним діям. Прикладами таких шкал є: знання студентів в балах, традиційні засоби й методи контролю, що включають іспити, контрольні роботи, усні опитування та інше, дозволяють одержувати бали випробуваних тільки на якісному рівні в порядковій шкалі.

3. **Інтервальна шкала** – кількісна характеристика використовується для впорядкування об'єктів, властивості яких задовольняють відношенням еквівалентності, порядку й адитивності (адитивність (лат. *additivus* – додавасий) – властивість величини, яка виражається в тому, що значення величини, відповідної цілому об'єкту, дорівнює сумі значень величин, що відповідають її частинам, у певному класі можливих розбивок об'єкта на частини) [7, с. 51 – 52].

В інтервальній шкалі досягається коректна порівняльність результатів педагогічних вимірювань. Хоча вона позбавлена недоліків номінальної й порядкової шкал, у ній залишається невідомою природна точка відліку – абсолютний нуль. Тому при інтерпретації результатів тестування за допомогою інтервальної шкали нуль правильних відповідей не означає повної відсутності підготовленості студентів [3].

Інтервальні шкали будують згідно з теорією тестів IRT. Її можливості, пов'язані з інваріантністю оцінок параметрів підготовленості студентів і труднощі завдань тесту в поєднанні з спеціальними перетвореннями емпіричних результатів тестування дозволяють увести одиницю вимірювання й перевести бали випробуваних з порядкової шкали в інтервальну [8, 11, 15].

4. **Шкали відносин** – це інтервальна шкала з природним початком. Шкала відносин є досить інформативною, вона відображає властивості об'єктів, що задовольняють відношенням еквівалентності, порядку, адитивності й пропорційності. Остання властивість з'являється завдяки наявності в шкалі відносин однозначного природно певного критерію нульового прояву вимірюваної властивості – абсолютного нуля. Іншими словами можна сказати, що шкала відносин є інтервальною з природним, а не з умовним початком відліку, що розширює можливості перетворення чисел, приписуваних об'єктам [3, 15].

Порівняно з усіма раніше розглянутими шкалами остання (шкала відносин) забезпечує найвищий рівень вимірювання в освіті та менеджменті освіти. У ній можна виконувати всі арифметичні й статистичні операції, у тому числі

інтерпретувати відношення чисел, приписуваних різним об'єктам.

5. **Інваріантна об'єктивність** характеризується тим, що на оцінку кожного випробуваного вибірки не впливають оцінки інших випробуваних і труднощі завдань тесту. Завдяки цьому оцінки підготовленості студентів, що володіють високою інваріантною об'єктивністю, будуть

більш точними, чим ті, які виходять при використанні традиційної теорії при конструюванні й застосуванні тестів [12, 15]. Правда, досягнення ефекту інваріантної об'єктивності забезпечується не автоматично при обробці результатів тестування, а за допомогою алгоритмів теорії IRT.

Графічно типологія шкал освітніх вимірювань наведена на рис. 1.



Рисунок 1 – Типологія шкал освітніх вимірювань

Оскільки кількісні шкали більш пріоритетні аніж якісні в тих випадках, коли результати освітніх вимірювань використовуються для прийняття адміністративно-управлінських рішень, то виникає питання про необхідні умови для одержання даних на кількісному рівні вимірювання. Такі умови можна розбити на дві частини, одна з яких висувається до самого тесту, а інша – до методів обробки даних при їх шкалюванні.

Думка щодо можливостей тестів для побудови кількісних шкал мінялася з розвитком теорії педагогічних вимірювань і вдосконалювання технології розробки тестів. Спочатку, коли тести тільки з'явилися в освіті, педагогам здавалося, що вони забезпечують оцінки в кількісній шкалі. Таке враження створювалося в силу того, що при тестуванні виходили бали студентів, підраховані на основі кількості правильно виконаних завдань тесту. Згодом виникли серйозні аргументи, що піддають сумніву кількісний характер результатів виконання тестів.

Дійсно, для тестових балів не можна ввести одиницю вимірювання у зв'язку із залежністю балів від різних труднощів завдань тесту. Окрім випадку, коли в тесті використовуються завдання однакової складності, але це можливо, оскільки не узгоджується з основними положеннями теорії освітніх вимірювань і потребами навчального процесу. При оцінці складності завдання завжди присутні помилкові компоненти, тому, відповідно до положень теорії вимірювання, неможливо обрати однаково складні завдання для тесту. Вони й не потрібні, оскільки всі студенти відрізняються за своєю підготовленістю, і для оцінювання їхніх на-

вчальних досягнень необхідні різні за складністю завдання, адекватні їхнім можливостям. До того ж, як свідчить досвід, специфіка змісту окремих елементів навчального матеріалу не дозволяє зробити однакові за складністю контрольні завдання в будь-якій формі, у тому числі й у формі тесту.

Висновки

Доведено, що результати тестування студентів дозволяють установити відношення рівності або відношення «більше / менше», а різниця спостережуваних (сирих) тестових балів при інтерпретації відмінностей у підготовленості студентів не має ніякого сенсу. У цілому можна відзначити, що кількісний і якісний рівні вимірювання мають істотні відмінності за проявом сукупності властивостей оцінюваних характеристик об'єктів, способом вимірювання, формами подання результатів, групами припустимих перетворень і операцій з різними математичними й статистичними величинами, що характеризують вимірювані ознаки. Кількісні оцінки звичайно представляють у вигляді чисел на шкалі, щоб диференціювати різні величини змінної. За результатами якісного вимірювання для оцінних характеристик визначають дескриптори у вигляді слів або символів, хоча нерідко в освіті роль символів, для зручності розміщення на шкалі, відводять умовно обраним числам.

Список використаних джерел

1. Аванесов В. С. Основы педагогической теории измерений / В. С. Аванесов // Педагогические измерения. – 2004. – № 1. – С. 15 – 16.

2. Джуэлл Л. Индустриально-организационная психология: [учебник для вузов] / Л. Джуэлл. – СПб.: Питер, 2001. – 720 с.
3. Звонников В. И. Измерения и качество образования / В. И. Звонников. – М.: Логос, 2006. – 313 с.
4. Звонников В. И., Челышкова М. Б. Современные средства оценивания результатов обучения / В. И. Звонников, М. Б. Челышкова. – М.: Академия, 2007. – 222 с.
5. Клайн П. Введение в психометрическое программирование: справочное руководство по конструированию тестов / П. Клайн. – Киев: Наукова думка, 1994. – 468 с.
6. Системный анализ в управлении: [учеб. пособие] / В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин; Под ред. А. А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
7. Челышкова М. Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: [учеб. пособие] / М. Б. Челышкова. – М.: Логос, 2001. – 432 с.
8. Applying the Rasch Model: Fundamental Measurement in the Human Sciences / Trevor G. Bond, Christine M. Fox. Lawrence Erlbaum Associates, 2001. – 790 p.
9. Baker F. B. Item Response Theory: Parameter Estimation Techniques. – ASC. Univ. Ave, 2004. – 440 p.
10. Crocker L., Algina J. Introduction to Classical and Modern Test Theory. University of Florida. – HBJCP, 2009. – 527 p.
11. Item Response Theory (IRT). Електронний ресурс [режим доступу] :<http://www.ht.ru/cms/component/content/article/3-dictionary/1204-item-response-theory>.
12. Educational Measurement / Ed. by R. L. Linn. – N. Y.: Macmillan, 1989. – 610 p.
13. Handbook of Modern Item Response Theory / Ed. by Wim J. van der Linden and Ronald K. Hambleton. – ASC. Univ. Ave, 1997. – 20 с.
14. Weiss D. J. (Ed.) New Horizons in testing. – N.Y.: Academic Press, 1983. – 345 p.

Надійшла до редакції 22.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф., Величко О. М.,
Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

О. И. Киселева, к. пед. н., **Л. В. Коломиец**, д.т.н.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБЪЕКТИВНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЗНАНИЙ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ

В статье исследуются пути обеспечения объективности измерения знаний в высшем образовании, определены и научно обоснованы основные критерии надежности теста и условия его объективности; проанализированы характеристики образовательных измерений: процедурная, классическая и инвариантная объективность, а также современная теория конструирования тестов ИРТ и ее наиболее значимые преимущества; исследованы аспекты и специфика применения шкал измерения знаний (пять типов), и определено, какие из них наиболее подходящие для образовательных измерений и обеспечения наибольшей объективности измерения.

Ключевые слова: объективность образовательных измерений, шкалы измерений, валидность, надежность, объективность теста, тестовый балл.

O. I. Kiseleva, PhD, **L. V. Kolomiets**, DSc

PROVISION OF OBJECTIVITY MEASUREMENT OF KNOWLEDGE IN HIGHER EDUCATION

The article investigates ways to provide objective measurement of knowledge in higher education. The basic criteria of reliability of the test and conditions of its objectivity have been defined and scientifically grounded; the characteristics of educational measurement (procedural, classic and invariant objectivity), a modern theory of IRT tests design and the most significant advantages of this theory have been analyzed; aspects and a specific application of knowledge measurement scales (five types) have been investigated; the most suitable scales for educational measurement and provision of the most objective measurement have been determined.

Keywords: objectivity of educational measurements, measurement scales, validity, reliability, objectivity of the test, score.

РОЗДІЛ 2

Прилади та методи вимірювання фізичних величин, їх метрологічне забезпечення

К. Ф. Боряк¹, д.т.н., О. В. Афтанюк¹, к.т.н., О. М. Лимаренко², к.т.н.

¹Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

²Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса

ПЕРЕВІРКА НА МІЦНІСТЬ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗНKP-60

Авторами пропонується ввести до повірочних еталонних засобів вимірювання маси новий допоміжний повірочний пристрій – «Зважувальний неавтоматичний калібрувальний пристрій з найбільшою границею зважування 60 т (ЗНKP-60)», який для створення зусиль навантаження на вантажоприймальну платформу використовує гідравлічні домкрати і баластний вантаж. Було розроблено декілька варіантів конструкції ЗНKP-60, кожний із яких має свої переваги і обмеження щодо застосування на практиці. В статті розглядається результати розрахунку на міцність основних конструктивних елементів першого варіанту конструкції ЗНKP-60, який використовує у якості баластного вантажу вантажний вагон типу «напіввагон», під кузов якого було пристосовано конструкція самого пристрою.

Ключові слова: зважувальний неавтоматичний калібрувальний пристрій, вантажоприймальна платформа, вагопередавальний пристрій, залізничні ваги, безгирна повірка, калібрування великовантажних ваг, еталонні засоби вимірювання маси.

Актуальність досліджень існуючої проблеми. Великовантажні платформні ваги є найбільш поширеним засобом вимірювальної техніки при здійсненні комерційних перевезень по залізниці. Технічні та метрологічні характеристики цих ваг повинні відповідати вимогам [1, 2]. Повірка (калібрування) ваг повинна здійснюватися відповідно до вимог [3]. Відповідно до цих вимогосновним методом повірки великовантажних стаціонарних платформних залізничних ваг є безпосереднє навантаження вагової платформи еталонними гирями класу M_1 масою 2 т [4]. Загальна маса гир, яка потрібна при повірці, повинна бути кратна найбільшій межі зважування (НМЗ). До вагової платформи гирі доставляються вагоповірочним вагоном. У ході повірки необхідно виконати багаторазове навантаження вагової платформи, що вимагає переміщення великих мас гир.

Прикладна проблема, на вирішення якої спрямовані дослідження. Проблемою є дефіцит вагоповірочних вагонів (ВПВ), більшість яких були створені за часів СРСР і є морально застарілими. У зв'язку з цим терміни міжповірочного інтервалу порушуються, що призводить до тимчасової зупинки експлуатації вагового обладнання і виробничим простоям. Це призводить до великих збитків, які несуть промислові підприємства в очікуванні своєї черги.

Таким чином, для значного скорочення експлуатаційних витрат та часу на проведення повірки великовантажних платформних залізничних ваг є актуальним та економічно доцільним розроблення нового методу безгирної по-

вірки та відповідної для цього конструкції допоміжного повірочного пристрою без використання вагоповірочного вагону та без додаткових фінансових витрат на модернізацію самих ваг.

Аналіз останніх досягнень. Відома російська методика безгирної повірки для великовантажних платформних вагонних ваг [5], в якій вагову платформу пропонують навантажувати не гирями або баластними масами, а різними навантажувальними механізмами, вимірюючи навантажувальне зусилля еталонними датчиками у пристрою, а результати порівнюють із показами датчиків вантажоприймальної платформи.

Видано багато патентів на різні конструкції навантажувального пристрою. Як один з варіантів, пропонується навантажувати вагову платформу гідроциліндрами. У цьому напрямку ряд відомих виробничих фірм виконали модернізацію конструкції платформних ваг, що включає створення спеціальної рамної обв'язки і посилення фундаменту, що дозволяє створити упор для навантажувального пристрою, встановленого на ваговій платформі. У деяких конструкціях в отвір у самій ваговій платформі пропускається трос, який закріплюється за фундамент. Лебідка, що розміщена зверху на ваговій платформі, натягує трос, створюючи навантажувальне зусилля. В інших конструкціях ваг пропонується розміщувати силувимірювальний датчик еталонного пристрою під ваговою платформою, що можливо зробити далеко не завжди.

Таким чином, розглянута вище російська методика безгирної повірки має певні недоліки.

При створенні повірочного зусилля на платформу ваг виникає сила протидії, що в застосовуваних час конструкціях призводить до необхідності значного посилення фундаменту ваг або істотного ускладнення самої металевої конструкції. Зазначені конструкційні складності призвели до того, що загальна вартість нових платформних ваг значно зростає, а для вже існуючих ваг зовсім стає неможливим застосувати відомий метод безгирної повірки. Однак, ускладнення конструкції самих ваг, яка повинна витримувати силу протидії навантажувальному пристрою в кілька десятків тонн, що виникають за третім законом Ньютона, призвела до того, що російський метод безгирної повірки не знайшов широкого поширення ні в Росії, ні в Україні. В обґрунтованих випадках його можна використовувати для діагностики технічного стану чи налагоджування окремих складових вагового терміналу. Однак, на сьогодні застосування російської методики при повірці платформних вагонних ваг неприйнятно. Причиною всьому є відсутність в розпорядженні повірника відповідної конструкції навантажувального пристрою, який би створював навантажувальні зусилля на вагову платформу, адекватні реальним умовам експлуатації. Саме ці обставини затримують широке впровадження методики безгирної повірки на практиці.

Мета та основні завдання досліджень. Метою досліджень є зниження експлуатаційних витрат, пов'язаних із застосуванням еталонних гир IV розряду і вантажопідйомної техніки разом з вагоповірочним вагоном, і скорочення технологічного часу на проведення операцій повірки (калібрування) великовантажних залізничних платформних ваг за рахунок використання мобільного допоміжного повірочного пристрою.

Виклад основного матеріалу. Нами пропонується ввести до повірочних еталонних засобів вимірювання маси новий допоміжний повірочний пристрій під назвою: «Зважувальний неавтоматичний калібрувальний пристрій з найбільшою границею зважування 60 т (ЗНКП-60)», який замінить вагоповірочний вагон, укомплектований гилями під час експлуатації залізничних платформних ваг [6].

Було розроблено декілька варіантів [7, 8] конструкції ЗНКП-60. Перший варіант було розроблено під використання у якості баластного вантажу одного вантажного вагону типу «напіввагон» [7], що являє собою розбірну металеву конструкцію, в яку вмонтовано гідравлічні домкрати та тензOMETричні датчики, яка монтується між баластовим вантажем і ваговою платформою таким чином, що навантажувальні

зусилля від гідравлічних домкратів передаються вертикально на залізничні рейки вагової платформи, далі на саму конструкцію платформи, фундамент і підстильну підставу. Колісні пари вантажного вагону розміщуються за межами вагової платформи на під'їзній і між двома платформами ділянках рейкового полотна таким чином, щоб навантаження від колісних пар візків не передавалось на вагову платформу (рис. 1).

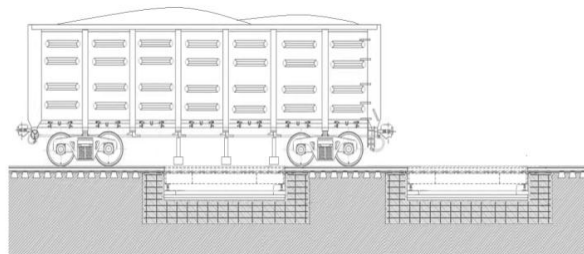


Рисунок 1 – Схема взаємного розташування складових елементів мобільного пересувного вимірювального еталонного комплексу при виконанні робіт з повірки (калібруванні) платформних ваг

Принципову схему навантаження вагової платформи можна представити так (рис. 2).

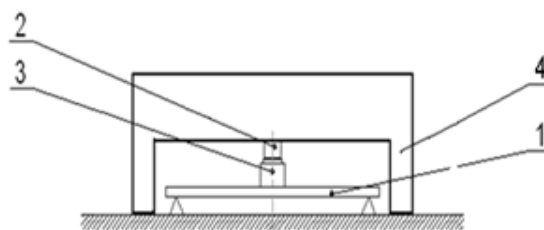


Рисунок 2 – Схема навантаження вагової платформи з використанням гідравлічних домкратів і баластного вантажу: 1 вагова платформа; 2 – вимірювальний прилад; 3 – гідравлічний домкрат; 4 – баластний вантаж

Слід також визнати, що перший варіант конструкції ЗНКП-60 має конструктивні обмеження щодо збільшення максимального зусилля навантаження на вертикальні стійки та хребтову балку кузова напіввагону, який застосовується в якості баластного вантажу. Це трохи обмежує його застосування на практиці, що можна вважати певним його недоліком. Незважаючи на це, він цілком відповідає вимогам технічного регламенту України [9], який розроблений на основі положень Директиви 2009/23/ ЄС, щодо неавтоматичних приладів для зважування і вимогам [1] в частині п. 3.7.2, яка стосується допоміжних повірочних пристроїв. Тому може бути рекомендо-

потрібно обрати зручний метод, заснований на ряді спрощуваних передумов і способах штучного полегшення розрахункового процесу.

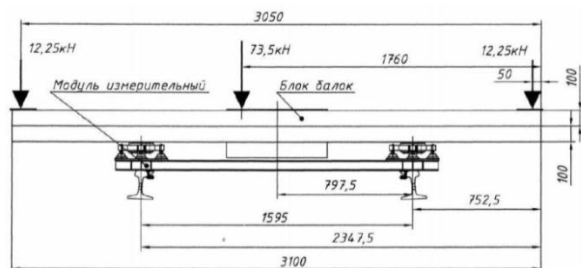


Рисунок 4 – Схема розподілу сумарного максимального навантажувального зусилля 98 кН гідравлічними домкратами на дві бічні стійки по 12,25 кН і на хребтову балку 73,5 кН в межах одного вантажоприймального пристрою 1

Найбільш зручними для вирішення завдань механіки як в метрологічних дослідженнях так і в інших галузях науки і техніки виявилися методи дискретної теорії лінійних просторів: матричне числення, метод потенціалу, метод граничних елементів і безумовно метод скінченних елементів (МСЕ). Скінченно - елементний аналіз дозволяє в рамках єдиного підходу вирішувати не тільки завдання статички, динаміки, а ще оптимізації і контактної взаємодії конструкцій.

Цей метод дозволяє оцінювати як напружено-деформований стан всієї конструкції, так і окремих її елементів. Тому нами були виконані розрахунки досліджуваної конструкції методом скінченних елементів, що реалізується в багатопільовому пакеті Ansys. Програмний комплекс Ansys математичною основою якого є МСЕ, дозволяє вирішувати крайові задачі практично у всіх інженерних додатках.

В розрахунках вантажоприймального пристрою 1 з сумарним максимальним навантаженням 98 кН (рис. 5) були прийняті такі вихідні данні:

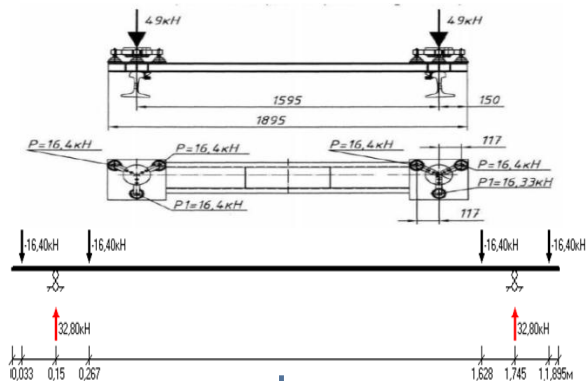


Рисунок 5 – Схема розподілу зусилля 98 кН в межах одного вантажоприймального пристрою 1 між ваговимірними пристроями ВП-5

На підставі прийнятого поперечного перетину (рис. 6)

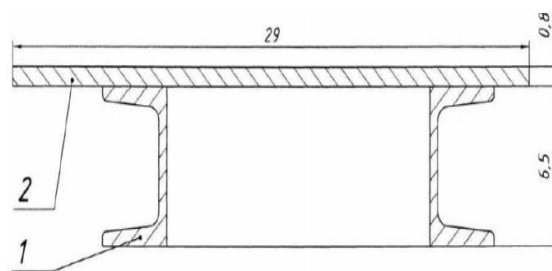


Рисунок 6 – Розрахунковий поперечний переріз вантажоприймального пристрою (розміри для зручності розрахунків вказані в сантиметрах): 1 – швелер; 2 – листовий метал

маємо наступні розрахункові значення нашого конструктивного елементу:

$$I_{x1} = 48,6 \text{ см}^4, F_1 = 7,51 \text{ см}^2, n = 2$$

$$y_1 = 3,25 \text{ см}, a_1 = 2,21 \text{ см},$$

$$I_{x2} = 1,24 \text{ см}^4, F_2 = 23,2 \text{ см}^2,$$

$$y_2 = 6,90 \text{ см}, a_{21} = 1,44 \text{ см}.$$

Нейтральна вісь перерізу

$$y_c = \frac{2 \cdot 7,51 \cdot 3,25 + 23 \cdot 6,9}{2 \cdot 7,51 + 23} = \frac{207,515}{38,02} = 5,46 \text{ см}.$$

Момент інерції перерізу

$$I_x = 2(48,6 + 2,21^2 \cdot 7,51) + (1,24 + 1,44^2 \cdot 23) = 219,5 \text{ см}^4.$$

Момент опору перерізу

$$W_x = \frac{219,5}{5,46} = 40,2 \text{ см}^3.$$

На підставі цих вхідних даних поля дотичних напружень в досліджуваній конструкції виглядають так (рис. 7).

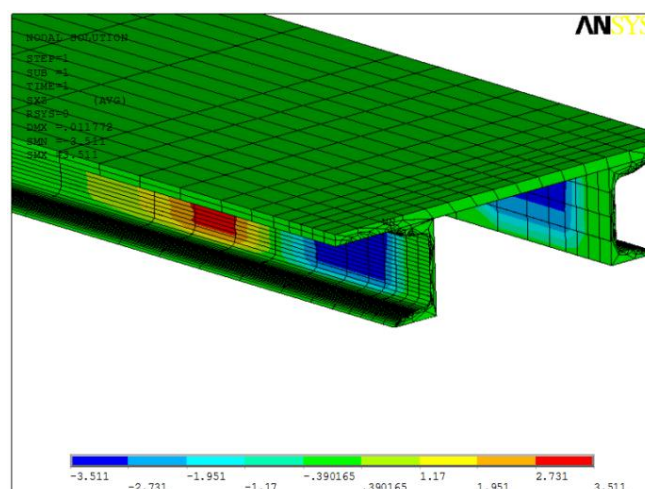


Рисунок 7 – Розподіл дотичних напружень в конструкції

У подальших розрахунках на ПК нашого елемента приймаємо:

маса 1 м. п. = 29,85 кг;
момент інерції, $I = 219,50 \text{ см}^4$;
момент опору, $W_x = 40,20 \text{ см}^3$;
марка сталі – С235.

На підставі отриманих результатів можна зробити такий висновок, що умови міцності і жорсткості нашої металевої конструкції (вантажоприймальний пристрій) виконуються. Розрахункові значення значно менші нормативних згідно з (п.п. 5.15 СНиП II-23-81) та ДБН В.2.6-198:2014. Порівняння результатів наведені в таблиці 1.

Висновки

Перший варіант конструкції допоміжного повірочного пристрою ЗНKP-60 відповідає ви-

могам технічного регламенту України [9], який розроблений на основі положень Директиви 2009/23/ ЄС, щодо неавтоматичних приладів зважування, а також вимогам п. 3.7 повірочних еталонних засобів [1], в частині п. 3.7.2 яка стосується допоміжних повірочних пристроїв. Наявність декількох різних варіантів конструкції нового допоміжного повірочного пристрою ЗНKP-60 збільшує вірогідність їх широкого впровадження в практику по Україні безгирної повірки чи калібрування великовантажних платформних залізничних ваг. А відсутність додаткових витрат на модернізацію вагових комплексів робить його дуже привабливим для застосування у безгирній повірці замість вагоповірочних вагонів.

Таблиця 1 – Порівняння розрахункових значень переміщень і напружень з нормативними

Параметри НДС	Розрахункові значення	Місце концентрації	Допустиме значення	Порівняння і висновки
Еквівалентні переміщення $USUM$ (см)	0,011772	Кінцеві перерізи балочної конструкції	0,69	$0,011772 < 0,69$ Експлуатація можлива
Вертикальне переміщення UY (см)	0,011342	Кінцеві перерізи балочної конструкції	0,69	$0,011342 < 0,69$ Експлуатація можлива
Інтенсивність напружень $\sigma_{\text{інтенс}}$ (МПа)	70,62	Область розташування опор	230	$70,62 < 230$ Експлуатація можлива
Осьові нормальні напруження σ_x (МПа)	42,03	Область розташування опор	230	$42,03 < 230$ Експлуатація можлива
Еквівалентні напруження $\sigma_{\text{екв}}$ (МПа)	61,17	Область розташування опор	230	$61,17 < 230$ Експлуатація можлива
Дотичні напруження в горизонтальній площині τ_{xz} (МПа)	35,11	Область розташування опор	140	$35,11 < 140$ Експлуатація можлива
Дотичні напруження у вертикальній площині τ_{xy} (МПа)	18,87	Область розташування опор	140	$18,87 < 140$ Експлуатація можлива

Весь комплекс може бути змонтований на вантажопасажирському автомобілі. На сьогодні загальна вартість пристрою ЗНKP-60 разом з автомобілем може скласти до 1млн. грн. При цьому, з урахуванням зниження річних експлуатаційних витрат у порівнянні з використанням

ВРВ у 12 разів (до 290 тис. грн.), термін окупності витрат на проектування, виготовлення та випробування дослідного зразка мобільної лабораторії для повірки вагонних ваг складає не більше одного року.

Список використаних джерел

1. ДСТУ EN45501 Прилади неавтоматичні зважувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.
2. ГОСТ 29329 Весы для статического взвешивания. Общие технические требования.
3. ГОСТ 8.453 ГСИ. Весы для статического взвешивания. Методы и средства поверки.
4. ДСТУ 111-1 (OIML R 111-1, IDT) Гирі класів точності $E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_2, M_{2-3}, IM_3$. Частина 1. Загальні технічні вимоги та методи випробування.
5. МИ 2520-99 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Весы электромеханические большегрузные. Методика поверки Госстандарта России».
6. К. Ф. Боряк, О. І. Ваганов, Л. В. Коломієць, О. О. Лопатін, А. Г. Цимбалюк Спосіб безгірної повірки платформних ваг // Заява на корисну модель u2015 070071 від 15.07.2015.
7. К. Ф. Боряк, Л. В. Коломієць, О. О. Лопатін, А. Г. Цимбалюк Пристрій для безгірної повірки платформних ваг // Заява на корисну модель u2015 07465 від 24.07.2015.
8. К. Ф. Боряк, Л. В. Коломієць, О. О. Лопатін, А. Г. Цимбалюк. Пристрій для безгірної повірки платформних ваг // Заява на корисну модель u2015 070071 від 25.08.2015.
9. Технічний регламент неавтоматичних зважувальних приладів. Постанова КМУ від 11.03.2009 № 190.
10. Erratum to OIML R 60(E) (Edition 2000) International recommendation. Metrological regulation for load cells.
11. ДСТУ OIML R 60:2010 Датчики навантаження (ваговимірні). Метрологічні норми та методи випробування (OIML R 60:2000, IDT).
12. Калініченко П. М. Напружений стан товстостінного циліндра з концентраторами / П. М. Калініченко, О. М. Лимаренко, Ю. В. Зяблов // Труды ОНПУ. – 2006. – вып 2 (26). – С. 20 – 23.
13. Дашенко О. Ф. Розрахунок напружено-деформованого стану станини гідропресу / О. Ф. Дашенко, В. Д. Ковальов, О. М. Лимаренко // Труды ОНПУ. – 2012. – вып. 2 (39) – С. 35 – 43.

Надійшла до редакції 21.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф., Ваганов О. І., головний метролог ДП «Одеська залізниця».

К. Ф. Боряк, д.т.н., О. В. Афтаниук, к.т.н., А. М. Лимаренко, к.т.н.

ПРОВЕРКА НА ПРОЧНОСТЬ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВНКУ-60

Авторами предлагается ввести к поверочным эталонным средствам измерения массы новое вспомогательное поверочное устройство – «весовое неавтоматическое калибровочное устройство с наибольшим пределом взвешивания 60 т (ВНКУ-60)», которое для воспроизведения нагрузочных усилий на грузоприемную платформу использует гидравлические домкраты и балластный груз. Было разработано несколько вариантов конструкции ВНКУ-60, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения по применению на практике. В статье рассматриваются результаты расчета на прочность основных конструктивных элементов первого варианта конструкции ВНКУ-60, который использует в качестве балластного груза грузовой вагон типа «полувагон», под кузов которого приспособлена конструкция самого устройства.

Ключевые слова: весовое неавтоматическое калибровочное устройство, грузоприемная платформа, весопередающее устройство, железнодорожные весы, безгирная поверка, калибровка большегрузных весов, эталонное средство измерения массы.

K. Boryak, DSc, O. Aftanyuk, PhD, A. Limarenko, PhD

TESTING THE STRENGTH OF STRUCTURAL ELEMENTS VNKU-60

The authors propose to supplement the verification standard weight measuring instruments with a new auxiliary verifier – «Non-automatic Weighing Calibration Device with maximum weighing range of 60 tons (VNKU-60)» in which hydraulic jacks and ballast weight for applying the load forces on the load carrier are used. Several design options of VNKU-60 have been worked out each of which has its own advantages and limitations for using in practice. In the article the results of strength calculation of the main structural elements of the first design option of VNKU-60 are considered in which as a ballast weight a 'gandola car' type

rail car is used into the body of which the construction of the device is arranged.

Keywords: non-automatic weighing calibration device, load carrier, weight-transmitting device, weighting bridges, weightless verification, calibration of large-load scales, standard weight measuring instrument.

УДК 519.878.5

Tomislav Koprek, Božo Soldo, PhD, Aleksej Aniskin

Sveučilište Sjever, Sveučilišni centar Varaždin, Odjel za graditeljstvo

CONTACT PROBLEM OF COMBINED FOOTING RESTING ON ELASTIC BASE

The contact problem of combined footing resting on elastic half space, or stratified elastic base has been analyzed. Unlike simplified common assumptions and design methods of such foundation, here the analysis was carried over a two rigid footings connected by elastic flexible foundation beam, taking into account different characteristics of individual footing parts (rigid vs. flexible) and continuity conditions at their joints, with emphasis on their mutual interaction related to underlying soil load transfer. The numerical analysis has been performed by combined finite difference and boundary element method on the identical quadrilateral mesh.

Keywords: combined footing, interaction, elastic half space, layered elastic medium, FEM, BEM, settlement.

Introduction.

Combined footings are common form of shallow foundations. A system of two rigid footings connected by a foundation beam are often referred as strap footing, but this term implies a special case of combined footing loading, which is exclusively used for compensation of highly eccentric concentrated loads [1], [2]. However, there are many other situations where the combined footings consisting of foundation beams and rigid footings are applicable, and actually used, and they are subject of this analysis in some broader sense.

Traditionally the use of the of shallow foundations is principally restricted to the relatively light structures due to limitations that are mainly related to two main reasons: the first being restrictions related to the shallow soil properties, their intrinsic non-homogenous nature and complex stress-strain behavior, and the second lack of correct assessment of foundation structure alone and soil-structure interaction effects, which makes predictions of real structure behavior unreliable and consequently can result in their inadequate design [3].

There are many publications considering various analytical and numerical methods and solutions for contact problems of simple-shaped foundations like flexible foundation beams, rigid or flexible plates of basic shapes. Some of them are reviewed and discussed in [4], [7] monographs [8], [9] and more related to the presented problem [10], [12] as well as their experimental verification [13]. But there is a lack of those deliberated to the more specific ones such as combined foundations, due to in-

herent complexity of any thorough analysis of such problems due to lack of accurate, i. e. closed-form analytical solutions for any but the simplest foundation shapes.

Consequently, in standard geotechnical engineering literature and engineering practice combined footings are treated on simplified way and designed almost solely on the basis of bearing capacity analysis, rather than considering influence of settlements and soil structure interaction effects.

As an example, in case of strap footings, in current design and construction practice the influence of beam-soil interaction is disregarded, and such possibility purposely prevented for compliance with design assumptions, and such approach is embedded in current design codes [14].

In common engineering practice this approach is not limited to the mentioned case, but it is widely used in most cases of combined beams with rigid footings on deformable bases.

Flexural rigidity of the structure can have significant influence on distribution of load and moments transmitted to the foundation of the structure, and the load redistribution may modify the pattern of or mitigate settlement [15].

So for safe and rational application of combined footing systems, better understanding their behavior, it is necessary to provide estimation of its load distribution and resulting contact stresses and settlements [16].

In this paper to a numerical analysis procedure of combined footing resting on elastic base has been presented, taking into account different characteris-

tics of individual footing parts (rigid vs. flexible) with emphasis on their mutual interaction based on continuity conditions at their joints.

To determine a more realistic contact stresses distribution on the contact plane and consequently the settlements more accurately, the entire footing system has to be treated as a unique boundary value problem [17].

Statement of the problem.

On Fig. 1 the contact problem of combined footing consisting of two rigid footings connected by elastic flexible foundation beam is presented schematically. It is considered that footing system is resting on the soil surface modeled as linearly deformable isotropic elastic half - space or alternatively can be treated as elastic layered soil medium of finite depth. The analysis of the contact problem here was carried with special emphasis on their mutual interaction while transferring load to underlying soil.

The contact between the soil and the footing system is assumed frictionless. It is assumed that bends of flexible beam are small and the Euler-Bernoulli hypothesis is valid.

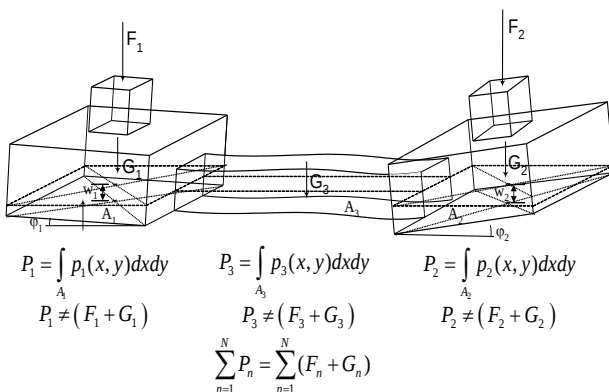


Figure 1 – Schematic representation the strip footing system: F – external forces, A – area, $p(x, y)$ – contact pressure, G – self weight sum forces, P – partial contact sum forces on respective footing parts, w and φ footing centre vertical displacements of and footing inclinations.

Although the eccentric application of load in relation to the longitudinal plane of symmetry or/and non-uniformity of soil properties can finally result in asymmetrical shape of deformed footing system, according to chosen theory and for reasons of clarity, this analysis is limited here on the simpler case, where it will be assumed that the system is loaded symmetrically relative to the longitudinal plane of symmetry of footing system.

The contact problem solution for the strip footing system is expected to satisfy requirements of

continuity of displacement and load transfer at their joints in conditions of their mutual interaction.

Since behavior of construction parts has to be described by different behaviour concepts (rigid behaviour of footings and flexible behaviour of the interconnecting foundation beam, in the unique solution for the combined footing system, both concepts should be implemented on the appropriate way, as well as their interaction conditions.

Because of complex nature of soils and peculiar aspects of their behavior and the complexity of boundary conditions involved in combined footing design it is necessary to use numerical methods for their analysis, because closed form mathematical solutions for such complex problems generally does not exist. In such cases the system of integral and differential equation should be solved numerically. In this case the numerical solution was obtained by finite difference and boundary element method. Presented numerical method implies that the solution of the problem always exists and therefore numerical procedure does not require iterative process.

Contact problem solution for flexible foundation beam.

It is worth to mention that unlike the traditional approach where the contact problem of foundation beam is treated as the planar one, here the same problem, as a part of the more broader one, it generally has to be treated as the space problem. Although formally identical to planar problem in symmetry conditions as in presented case, when considering the numerical solution of the soil same problem in space, one more spatial dimension has to be taken into account, when considering the interaction of surrounding footing base and footing structure.

Solution for the foundation beam (Fig. 2), which is here the flexible part of combined footing system, is based on the fourth order differential equation, according to the Euler-Bernoulli theory and has the following form

$$EI \frac{d^4 w}{dx^4} = q(x) - p(x), \quad (1)$$

where EI is flexural stiffness of the beam (constant in considered case), $w(x)$ function of the vertical displacement, $p(x)$ reactive stresses function on the contact area, the $q(x)$ is general external load function, including the beam self weight, E is elastic modulus of beam material, and I is the second moment of inertia of the beam cross-section taken about an axis perpendicular to the loading plane.

The theory is valid if assumed that the beam is relatively long and slender, material of the beam is

isotropic, deformations of flexible beam remain small, there is no friction between beam and base on contact plane, beam is loaded in its symmetry plane, cross-section is constant along its axis and plane sections of the beam remain plane.

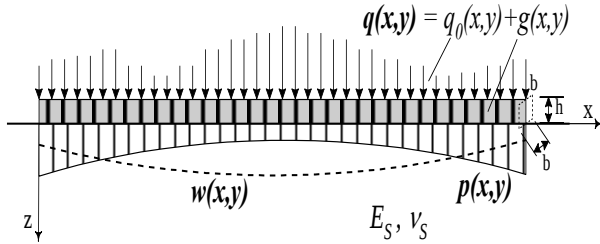


Figure 2 – Contact problem of the flexible foundation beam resting on elastic base

As the contact pressures p nor displacements w are not known, this leads to the statically undetermined system so the additional assumptions are required to overcome this problem.

So for solving the spatial contact problem, it is supposed that vertical structure displacements and deformation of the base are equal, which leads to the boundary integral equation of the geometrical relationship between contact pressures p on the foundation base and corresponding settlements w of the structure, which generally has the following form

$$w(x, y) = \iint_A p(\xi, \eta) \omega(x, y, \xi, \eta) d\xi, d\eta, \quad (2)$$

where $w(x, y)$ is the function of unknown foundation displacements, A is the contact area of foundation resting on elastic base, $\omega(x, y, \xi, \eta)$ is a Green function depending on the adopted base model, $p(x, y)$ is the function of unknown contact pressures to be found [5],[6].

As it was already said for the foundation beam, $w(x)$ and $p(x)$ are the functions of beam length only, providing the beam width is taken into account.

Differential equation is solved by fourfold integration whereat, it is necessary to specify geometrical (displacement w , inclination φ) or static (bending moment M , shear force T) boundary conditions to find specific solution.

Bending moments, and shear forces in arbitrary section plane of the foundation beam are defined as second and third order differential equations of the displacement function respectively

$$M(x) = -EI \frac{d^2 w}{dx^2}, \quad (3)$$

$$T(x) = -EI \frac{d^3 w}{dx^3}. \quad (4)$$

Equilibrium of the reaction forces and external load presented by equation

$$\iint_A p(\xi, \eta) d\xi, d\eta = \iint_A q(\xi, \eta) d\xi, d\eta, \quad (5)$$

is fulfilled on entire footing system domain A , but it is generally not fulfilled locally, on individual footing system part's subdomains A_n .

To be solved effectively, the problem has to be reduced to a discrete solution of the differential, integral and boundary condition equations in corresponding nodes.

The combined footing system (symmetrical in respect to the longitudinal axis) has been analyzed by the finite difference method on the simple orthogonal mesh of cells which dimensions in main directions X and Y are a and b respectively, and their corresponding nodes in the centre of cells, indicated by their discrete coordinates $j=1, \dots, J$ and $i=1, \dots, I$ respectively (Fig. 3).

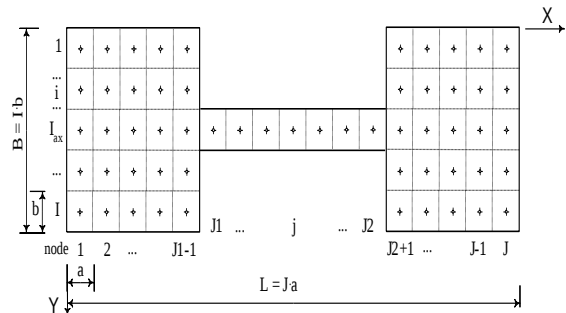


Figure 3 – Discretization scheme of the combined footing system

In this analysis the unique discretization scheme is introduced for the whole combined footing system in order to enable defining spatial relations in numerical expressions over a complete boundary of the problem. Discrete solution of differential equation of the foundation beam in the form of the system of finite difference equations can be presented in matrix form

$$\frac{EI}{a^4 b} \cdot \mathbf{D} \times \mathbf{w} + \boldsymbol{\lambda} \times \mathbf{p} = \mathbf{f}, \quad (6)$$

where $\mathbf{D}$ is the matrix of differential operator of the foundation beam, $\mathbf{w}$ is the beam node displacement vector, $\boldsymbol{\lambda}$ is matrix dependent on discretization scheme (in case of mesh with central nodes it is unity matrix), $\mathbf{p}$ is the vector of reactive pressures, and $\mathbf{f}$ is the vector which consist of external normal load vector $\mathbf{q}$, and the load terms emerging from boundary condition equations.

Discrete analogue of spatial contact problem integral equation (2) is presented in discrete form of matrix equation:

$$\mathbf{w} = \mathbf{U} \times \mathbf{p}, \quad (7)$$

where $\mathbf{U}$ is influence (deformability) matrix which present the vertical displacements of the contact surface at the arbitrary node (i, j) , in the centre of corresponding cell on the boundary domain induced by the uniformly distributed unit load over another arbitrary cell (k, l) of the same boundary domain. Their elements in the case of elastic medium are obtained by the numerical integration of deformation resulting from the additional stresses distribution along the depth at node (i, j) induced by the unit load on the mesh cell (k, l) , according to chosen contact model

Substituting $\mathbf{w}$ from equation (7) into equation (6) as we consider solving it in terms of contact pressure vector $\mathbf{p}$ to be the only unknown, the solution can be presented in the form

$$\mathbf{A} \times \mathbf{p} = \mathbf{f}, \quad (8)$$

where

$$\mathbf{A} = \mathbf{D} \times \mathbf{U} + \boldsymbol{\lambda}, \quad (9)$$

so the final solution of the contact problem of flexible foundation beam can be obtained in the form

$$\mathbf{p} = \mathbf{A}^{-1} \times \mathbf{f}. \quad (10)$$

When final solution is found, the displacements can be obtained using (7) and the distributions of bending moments and shear forces along the foundation beam can be found by discrete finite difference approximations of equations (3) and (4) respectively in matrix form

$$\mathbf{M} = -EI \cdot \mathbf{D}_2 \times \mathbf{w}, \quad (11)$$

$$\mathbf{T} = -EI \cdot \mathbf{D}_3 \times \mathbf{w}, \quad (12)$$

where the $\mathbf{D}_2$ and $\mathbf{D}_3$ are finite difference analogue of second and third derivation operator respectively.

Unlike a free edge foundation beam, where the static boundary conditions would be homogenous ($M=0$, $T=0$) so specific solution would be rather simple to obtain, in the case of beam which is part of combined footing real bending moment ($M \neq 0$), and shear force ($T \neq 0$) have to be defined in boundary condition analysis in the sense of introduced load variables which include unknown reactive pressures too (Fig. 4).

Boundary bending moments on beam edge section planes ($n=1, 2$) can be defined as integral sum of differential force moments over the area An

of adjacent rigid footing n in respect to corresponding section plane x_n

$$M(x_n) = \int_{An} q(\xi, \eta) - p(\xi, \eta) \xi d\xi, d\eta. \quad (13)$$

Accordingly, the boundary shear forces on the same section planes can be defined as integral sum of differential forces over the area of corresponding rigid footing

$$T(x_n) = \int_{An} q(\xi, \eta) - p(\xi, \eta) d\xi, d\eta. \quad (14)$$

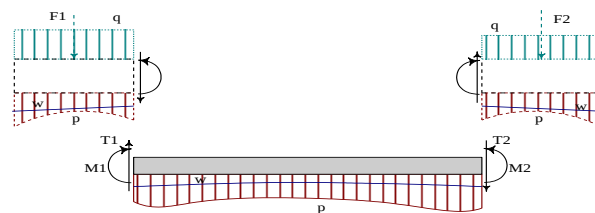


Figure 4 – Boundary conditions for flexible foundation beam interacting with rigid footing

which can be expressed in the discrete terms according to formerly introduced discretization scheme

$$M_n = F \cdot x_p + ab \sum_{k=1}^I \sum_{l=J1(n)}^{J2(n)} (q_{kl} \cdot x_{kl}) - ab \sum_{k=1}^I \sum_{l=J1(n)}^{J2(n)} (p_{kl} \cdot x_{kl}), \quad (15)$$

$$T_n = F + ab \sum_{k=1}^I \sum_{l=J1(n)}^{J2(n)} (q)_{kl} - ab \sum_{k=1}^I \sum_{l=J1(n)}^{J2(n)} p_{kl}, \quad (16)$$

where M_n and T_n are boundary bending moments and shear forces, x_p and x_{kl} the vector distances of the concentrated forces and mesh node forces respectively regarding to the edge section plane, $J1(n)$ and $J2(n)$ starting and final node points of the n -th footing length.

Introducing equations of the boundary conditions (13), (14) in their discrete form (15), (16) into the nodal difference equations

$$\frac{EI}{a^4 b} \cdot (w_{j-2} - 4w_{j-1} + 6w_j - 4w_{j+1} + w_{j+2}) = q_j - p_j, \quad (17)$$

for two near-boundary beam nodes, which include deflection terms of the two extra - boundary nodes (Fig. 5) that can be called fictive displacements and are defined from before mentioned static boundary conditions

$$w_{j1-1} = -\frac{a^2}{EI} (M_1^T + M_1) + 2w_{j1} - w_{j1+1}, \quad (18)$$

$$w_{j1-2} = \frac{2a^3}{EI} (T_1^T + T_1) + 2w_{j1-1} - 2w_{j1+1} + w_{j1+2}, \quad (19)$$

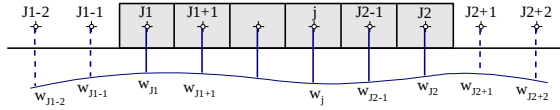


Figure 5 – Discretization scheme of the foundation beam including fictive displacements in extra-boundary nodes

so the numerical solution of differential equation for bending of the flexible foundation beam as a part of combined footing system is found and can be defined by the matrix equation

$$\left(\frac{EI}{a^4 b} \cdot \mathbf{D}^b \times \mathbf{U} + \boldsymbol{\lambda}^b + \mathbf{R}^b \right) \times \mathbf{p} = \mathbf{f}, \quad (20)$$

where $\mathbf{D}^b$ is beam finite difference operator, $\mathbf{U}$ is the influence matrix, $\boldsymbol{\lambda}^b$ the discretization scheme dependent operator, $\mathbf{R}^b$ matrix of boundary condition terms which include unknown variables, and $\mathbf{f}$ the vector of external load and boundary condition load terms.

Solution of the contact problem for the rigid footing.

As the footings are considered absolutely rigid, there is no deformation of its shape, so contact surface remains plane exhibiting only kinematical movement which can be described by its inclination and displacement of the arbitrary point on the contact plane surface [1] and expressed in the form of integral equation

$$\int_A p(\xi, \eta) \omega(x, y, \xi, \eta) d\xi, d\eta = w_c + \varphi_x(x - X_c) + \varphi_y(y - Y_c), \quad (21)$$

where A is the contact area, w_c is vertical settlement of the footing centre, φ_x and φ_y are footing inclinations relative to axes X and Y respectively.

So, to solve the contact problem of rigid footing it is necessary to find a distribution of contact pressures and three unknown parameters of displacement and inclinations of rigid footing contact plane (w_c , φ_x , φ_y).

To find the solution, we need three more equilibrium equations:

$$\int_A p(\xi, \eta) d\xi, d\eta = F, \quad (22)$$

$$\int_A p(\xi, \eta) d\xi, d\eta = F \cdot X_c + My, \quad (23)$$

$$\int_A p(\xi, \eta) d\xi, d\eta = F \cdot Y_c + Mx. \quad (24)$$

The solution of the problem can be defined in discrete form

$$\sum_{k=1}^I \sum_{l=1}^J p_{k,l} \cdot u_{i,j,k,l} - \varphi_x(x - X_c) - \varphi_y(y - Y_c) + w_c = 0, \quad (25)$$

$$(i, k = 1, \dots, I, j, l = 1, \dots, J).$$

As the spatial position of the contact plane can be determined by the displacement of arbitrary point n of its surface and its inclination, it is practical to define contact problem of rigid footing in terms of existing variables i.e. node point displacements only, so the solution (25) can be presented in a matrix form too, similar to finite difference operator.

The discrete solution of the problem can be defined as system of linear equations of kinematical conditions providing link between node displacements in respect to the longitudinal and transversal direction.

As the footing system is loaded centrally regarding to its longitudinal axis (X), all of the displacements in the normal direction to the longitudinal axis are equal i.e. $\varphi_y = 0$ so the equation

$$w_{1,j} = w_{2,j} = \dots = w_{I,j}, \quad (26)$$

is valid for all node columns $j = 1, \dots, JI-1$ for the first footing (Fig. 6), and also corresponding $j = J2+1, \dots, J$ on the second footing according to discretization scheme (Fig. 3), which leads to first set of kinematical conditions in the form

$$w_{1,j} - w_{2,j} = 0; w_{2,j} - w_{3,j} = 0; \dots w_{I-1,j} - w_{I,j} = 0. \quad (27)$$

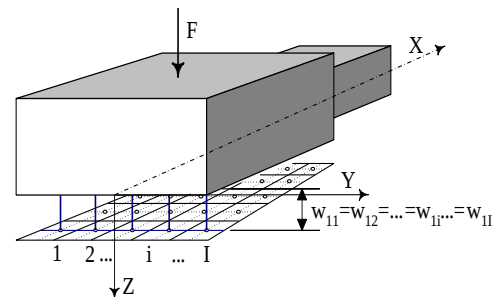


Figure 6 – Kinematical conditions for the rigid footing in the normal direction to the longitudinal axis

Combining this set of kinematical condition equations with the boundary integral equation (2) in their discrete matrix form (7) as in (25) we get the set of kinematical equations which can be expressed in matrix form

$$\mathbf{K}_1^f \times \mathbf{U} \times \mathbf{p}^f = \mathbf{0}. \quad (28)$$

Kinematical conditions in the direction of longitudinal axis can be expressed as the constant incli-

nation of footing slope φ_x which has to be defined only in central node row Iax , as it is the same for all other rows (Fig. 7)

$$\begin{aligned} \frac{w_{Iax,2} - w_{Iax,1}}{a} &= \frac{w_{Iax,3} - w_{Iax,2}}{a} = \dots = \\ &= \frac{w_{Iax,J1} - w_{Iax,J1-1}}{a} = \varphi_x, \end{aligned} \quad (29)$$

which leads to second set of kinematical condition equations in the form

$$\begin{aligned} -w_{Iax,1} + 2w_{Iax,2} - w_{Iax,3} &= 0, \dots \\ -w_{Iax,j-1} + 2w_{Iax,j} - w_{Iax,j+1} &= 0, \dots \quad (30) \\ -w_{Iax,J1-2} + 2w_{Iax,J1-1} - w_{Iax,j+1} &= 0. \end{aligned}$$

Combining these equations with (7) we get the set of kinematical equations

$$\mathbf{K}_2^f \times \mathbf{U} \times \mathbf{p}^f = \mathbf{0}. \quad (31)$$

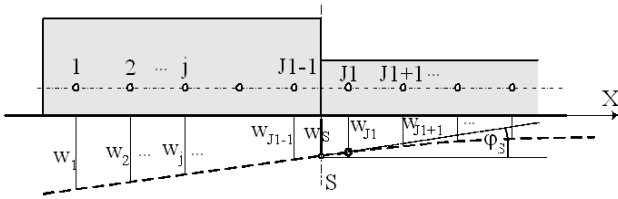


Figure 7 – Boundary conditions on the connection of the rigid footing with the foundation beam

Equations (29) and (30) are formally stated in the notation for the first footing but those for the second one are principally identical. By equations (30), (31) contact problem of rigid footing is defined.

Boundary plane conditions and solution for combined footing system.

Regarding to fixed static connection of the footing with the foundation beam, there are geometric boundary conditions of equal displacement and equal inclination which must be satisfied on their connection which can be defined as (Fig. 7)

$$w_S^f = w_S^b \neq 0, \quad (32)$$

$$\varphi_S^f = \varphi_S^b \neq 0, \quad (33)$$

where w_S is the displacement in the section plane. Index b and f indicate quantities regarding to beam and footing respectively.

As the edge section is not in the node in the

case of mesh with central node points, the boundary displacement is approximated in terms of beam displacement variables

$$w_{Is,J1}^b = w_{J1}^f + \varphi_{J1}^f \cdot a. \quad (34)$$

The condition of equal inclination (33) is defined by combining central finite difference approximation of the footing slope inclination

$$\varphi_{J1}^f = \frac{dw}{dx} \approx \frac{(w_{J1}^f - w_{J1-1}^f)}{a}, \quad (35)$$

and boundary finite difference approximation of foundation beam slope inclination

$$\varphi_{Is,J1}^b = \frac{dw}{dx} \approx \frac{-11w_{Is,J1}^b + 18w_{Is,J1+1}^b - 9w_{Is,J1+2}^b + 2w_{Is,J1+3}^b}{6a}, \quad (36)$$

which yields

$$-6w_{Is,J1-1}^b + 17w_{Is,J1}^b - 18w_{Is,J1+1}^b + 9w_{Is,J1+2}^b - 2w_{Is,J1+3}^b = 0, \quad (37)$$

while the condition of the equal displacement (32) is already fulfilled by the equation (33).

Combining equation (37) with (7) we get two kinematical equations which can be noted as

$$\mathbf{K}_3^f \times \mathbf{U} \times \mathbf{p}^f = \mathbf{0}. \quad (38)$$

Equations (28), (33) and (38) define complete solution for rigid footing parts of combined footing system

$$\mathbf{K}^f \times \mathbf{U} \times \mathbf{p}^f = \mathbf{0}, \quad (39)$$

where $\mathbf{K}^f$ is complete kinematical operator matrix of the rigid footing parts of combined footing system and $\mathbf{p}^f$ is the vector of contact stresses on rigid footings contact plane.

Finally, the unique solution for the strip footing system is defined by combining the solutions for his flexible (20) and rigid (39) parts and can be described by the matrix equation

$$\left[\left(\frac{EI}{a^4 b} \cdot \mathbf{D}^b + \mathbf{K}^f \right) \times \mathbf{U} + \boldsymbol{\lambda}^b + \mathbf{R}^b \right] \times \mathbf{p} = \mathbf{f}. \quad (40)$$

Schematic graphical presentation of the sparse matrix system components is shown on Fig. 8.

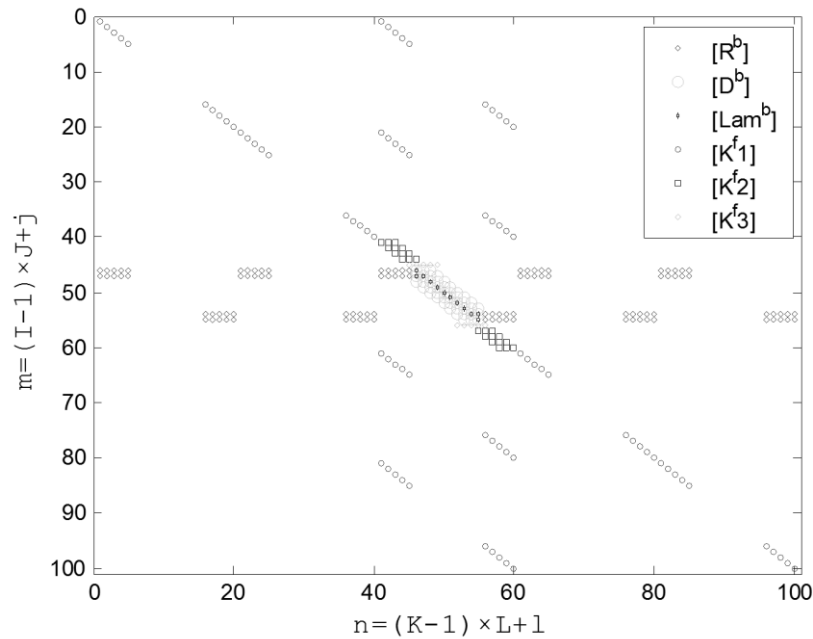


Figure 8 – Sparse matrix system components of finite difference solution for strip footing system analysis

Soil model.

Solution of the contact problem on elastic homogenous isotropic half-space is based on well known Bousinesq's solution for additional stresses due to concentrated load on its surface [18].

The relationship (2) between uniformly distributed contact pressure p on the foundation base and corresponding settlement w on the corner point of the rectangular area of dimensions (a, b) resting on the elastic half-space is obtained by double integration of differential deformation caused by additional stresses over the area according to Steinbrenner's solution [9].

$$w = \frac{1-\nu_0^2}{\pi \cdot E_0} \cdot p \cdot \left[a \cdot \ln \frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}-b} + b \cdot \ln \frac{\sqrt{a^2+b^2}-a}{b} \right]. \quad (41)$$

Settlement of any node (i, j) is evaluated by numerical integration of partial settlements caused by any single uniformly loaded rectangular mesh element area (k, l) of foundation base boundary by superposition of solution (41) for all divided rectangular element area parts with common corner in it's characteristic point.

As an alternative to the elastic homogenous isotropic half - space model, the quasi-linear elastic layered soil model is also adopted to enable using of standard widely used and experimentally determined soil properties as the confined compressibility modulus based on Edometer test data. Total settlement of the compressible soil layer is defined by

$$w = \int_0^H \frac{\sigma_z \cdot dz}{M_{V(z)}}, \quad (42)$$

where H is the soil layer thickness, $M_{V(z)}$ is confined compressibility soil modulus on corresponding depth z and σ_z is additional stress function.

For actual calculations this integral equation (2) solution is evaluated numerically in discretized form over the depth of soil profile which is divided in many (N) thin sub-layers of thickness $\Delta z(n)$ approximated by constant soil compression modulus $M_{V(n)}$ and stress $\sigma_{z(n)}$ which is calculated in the centre of sub-layer depth

$$w = \sum_{n=1}^N \frac{\sigma_{z(n)} \cdot \Delta z(n)}{M_{V(n)}}, \quad n = 1 \dots N. \quad (43)$$

Additional stress function is defined according to the Steinbrenner's solution for stress on depth z below the edge of the rectangular area of dimensions (a, b)

$$\sigma_z = \frac{q}{2\pi} \left[\frac{a \cdot b \cdot z \cdot (a^2 + b^2 + 2z^2)}{(a^2 + z^2)(b^2 + z^2)\sqrt{a^2 + b^2 + z^2}} + \arctg \frac{a \cdot b}{z \cdot \sqrt{a^2 + b^2 + z^2}} \right], \quad (44)$$

which is evaluated on any point of rectangular mesh sub domain using the superposition principle as described before.

Numerical examples.

The numerical algorithm based on above described procedure for combined footing system analysis was written and implemented in Matlab computing environment. An elastic linearly deformed half-space and quasi-linear elastic layered model of horizontally layered soil are implemented in the algorithm based on finite difference method.

Two simple examples of symmetrically loaded combined footing system are analyzed to demonstrate the adopted procedure.

The footing system domain was described by uniform rectangular mesh of 20×5 cells which dimensions in main directions X and Y are $a=b=0.5\text{m}$.

Basic footing system of overall length of 10.0 m consists of two rigid footings of dimensions $(w \times l \times h)$ $2.5 \times 2.5 \times 0.6\text{ m}$, connected with the foundation beam of dimensions $0.5 \times 5.0 \times 0.6\text{ m}$. Footing system model mesh consist of 60 cells with node points in their center, so the total number of unknowns in the problem is 60.

Graphical presentation of the combined footing system model with its dimensions over the corresponding contact area mesh is given on Fig. 9.

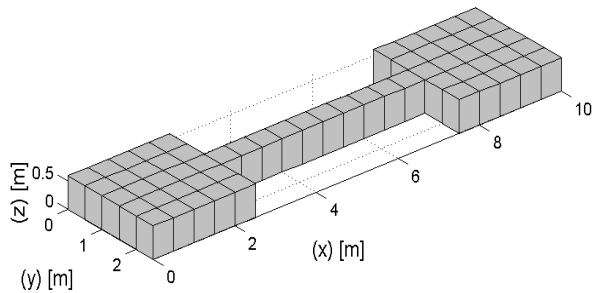


Figure 9 – The model of the combined footing system

Footing system is loaded by external concentrated forces $P_1=P_2=600\text{ kN}$ in the centre of each footing and self weigh 225 kN , so the total load sum is 1425 kN . Concrete Young modulus is $E=3 \times 10^4\text{ MPa}$ and Poisson ratio $\nu=0.17$.

For a given load combined footing load contact pressure distribution and the node displacements are calculated. Bending moments and shear forces in node points and characteristic sections are calculated by integration of node forces.

The numerical calculation data of contact pressure distribution and node displacements are given for a quarter of footing system area, and bending moments and shear forces in longitudinal axis for half footing system length, due to symmetry of load distribution.

Calculation data for combined footing system on elastic half-space.

For this calculation the elastic half-space soil model was characterized by Young modulus $E=10\text{ MPa}$ and Poisson ratio $\nu=0.3$.

The numerical calculation data are presented in Table 1. Calculation results for contact pressure distribution and node displacements are shown graphically over footing system domain on the figures Fig. 10 and Fig. 11. Bending moments and shear forces in footing system longitudinal axis are shown on the Fig. 12.

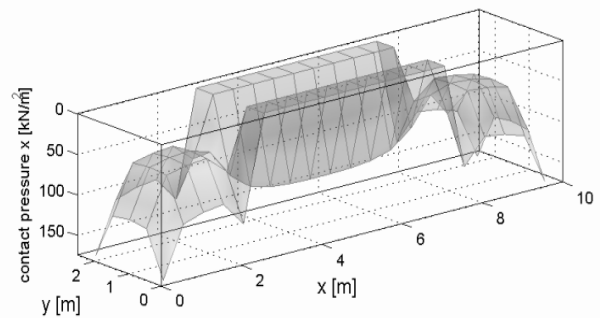


Figure 10 – Combined footing contact pressure distribution for the elastic half-space soil model

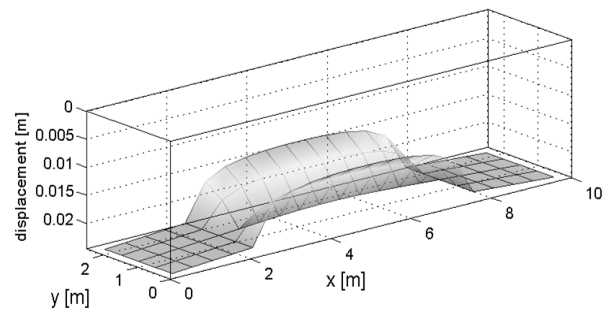


Figure 11 – Combined footing node displacements for the elastic half-space soil model

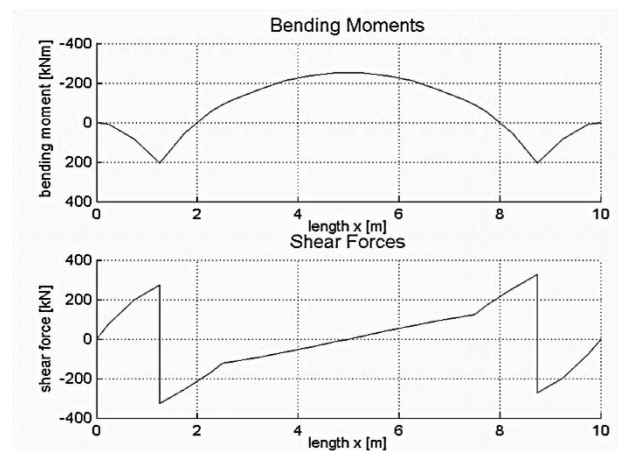


Figure 12 – Combined footing bending moments and shear forces distribution for the elastic half-space soil model

Table 1 – Numerical calculation data for combined footing on the elastic half-space

Node (i, j)	cont. pressure p [kN/m ²]	displacement w [m]	length x [m]	Bending moment M [kNm]	Shear force N [kN]
1,1	174.375	0.024597	0	0	0
1,2	111.9333	0.024346	0.25	9.7731	78.1848
1,3	103.4954	0.024096	0.75	83.2366	196.7842
1,4	100.1282	0.023846	1.25	205.8489	273.4578
1,5	130.6441	0.023596	1.25	205.8489	-326.5422
2,1	118.3422	0.024597	1.75	55.9658	-255.6974
2,2	58.8469	0.024346	2.25	-52.8154	-172.3293
2,3	53.4642	0.024096	2.5	-89.7999	-123.547
2,4	51.1634	0.023846	2.75	-119.4714	-113.8247
2,5	73.2836	0.023596	3.25	-171.2148	-91.9179
3,1	115.0437	0.024597	3.75	-210.9736	-66.6856
3,2	56.7569	0.024346	4.25	-237.7533	-40.2766
3,3	51.1526	0.024096	4.75	-251.199	-13.4577
3,4	49.1034	0.023846	5	-252.8812	-6.35E-08
3,5	57.4027	0.023596			
3,6	92.7779	0.023346			
3,7	112.4768	0.023093			
3,8	119.3815	0.02286			
3,9	121.8903	0.022684			
3,10	122.6614	0.02259			
Total load				1425	kN
Beam load Sum				37.500	kN
Beam contact pressures Sum				284.594	kN
Beam load vs. contact pressures difference				247.094	kN
Relative load transfer rigid foot. to beam				17.809	%

Calculation data for the combined footing system on the layered quasi-linear elastic soil model.

Horizontally layered quasi-linear elastic soil model consists of 4 layers with parameters specified in the Table 2.

Table 2 – Layered quasi-linear elastic soil model properties

Layer	Layer thickness [m]	Compressibility modulus [kN/m ²]
1	2	10000
2	2	15000
3	3	20000
4	3	30000

The numerical calculation data are presented in table 3. Calculation results for contact pressure distribution and node displacements are shown graphically over footing system domain on the figures Fig 13 and Fig 14. Bending moments and shear forces in longitudinal footing system axis are shown on the Fig 15.

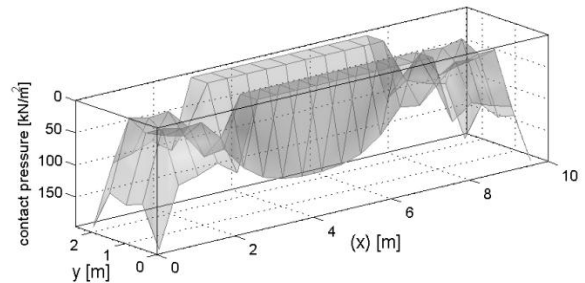


Figure 13 – Combined footing contact pressure distribution for layered quasi-linear elastic soil model

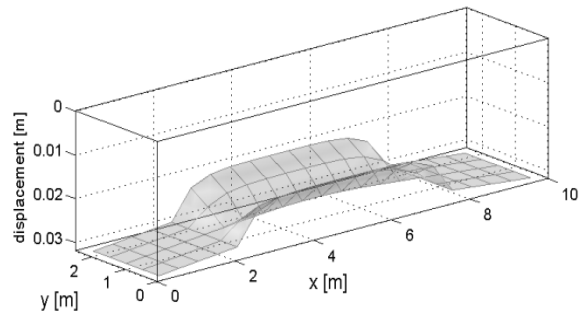


Figure 14 – Combined footing node displacements for layered quasi-linear elastic soil model

Table 3 – Numerical calculation data for combined footing on the layered quasi-linear elastic soil model

Node (i, j)	cont. pressure p [kN/m ²]	displacement w [m]	length x [m]	Bending moment M [kNm]	Shear force N [kN]
1,1	197.139	0.03188	0	0.000	0.000
1,2	104.493	0.03141	0.25	11.497	91.972
1,3	96.624	0.03094	0.75	95.488	212.065
1,4	84.640	0.03048	1.25	219.389	269.481
1,5	107.079	0.03001	1.25	219.389	-330.519
2,1	135.362	0.03188	1.75	64.783	-274.590
2,2	25.294	0.03141	2.25	-56.897	-202.935
2,3	32.381	0.03094	2.5	-102.003	-157.914
2,4	29.649	0.03048	2.75	-140.236	-147.951
2,5	60.898	0.03001	3.25	-208.665	-123.504
3,1	135.362	0.03188	3.75	-262.830	-91.781
3,2	145.777	0.03188	4.25	-299.954	-56.122
3,3	40.390	0.03141	4.75	-318.750	-18.850
3,4	51.352	0.03094	5	-321.106	-1.035E-08
3,5	59.495	0.03048			
3,6	99.214	0.03001			
3,7	94.701	0.02954			
3,8	130.879	0.02908			
3,9	152.901	0.02868			
3,10	162.377	0.02838			
			Total load	1425	kN
			Beam load Sum	37.500	kN
			Beam contact pressures Sum	353.327	kN
			Beam load vs. contact pressures difference	315.827	kN
			Relative load transfer rigid foot. to beam	22.762	%

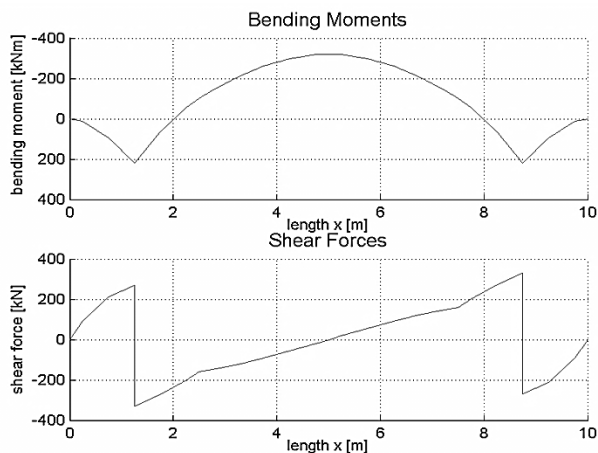


Figure 15 – Combined footing bending moments and shear forces distribution for layered quasi-linear elastic soil model

To evaluate influence of footing system rigidity on system parts mutual interaction effects, the parametric analysis was conducted varying the beam height. Numerical calculation data of basic footing design parameters for different beam heights are presented in table 4. Graphical presentation of parametric analysis results are shown on the figures Fig. 16 and Fig. 17.

The contact pressure distribution differences between two soil models are generally moderate and are the most visible on the flexible foundation beam where maximum differences for presented examples are of the order of 25 %.

The parametric analysis of footing system conducted by varying the beam height in the larger range of beam thickness, the load transfer from the rigid footings to the foundation beam has been changed less than 10%, which shows that the influence of foundation beam rigidity does not have crucial influence on the foundation interaction effects.

As can be seen from analysis data the chosen soil model has more than twice as much influence on obtained foundation interaction effects than foundation beam stiffness which in the case of used soil models amounts up to 20 %.

Differential settlements are more dependent on foundation beam stiffness and maximum differential node settlements over the contact plane for analyzed examples varies in the range of about 10% to 20% of total displacement.

Bending moments and shear forces differences distribution also seem to depend more on used soil model than on the foundation beam rigidity

Table 4 – Comparison of calculation data for different beam height

Beam height [m]	Max. beam centre bend. moment [kNm]	Max. beam edge shear force [kN]	Max. differential node displ. [mm, (%)]	Load transfer to beam [kN, (%)]
¹ 0.3	-201.9	312.1	5.15, (20.45)	225.4, (16.25)
¹ 0.4	-221.5	316.6	3.89, (15.54)	234.6, (16.91)
¹ 0.5	-239.5	322.9	2.83, (11.43)	242.1, (17.45)
¹ 0.6	-252.9	326.5	2.01, (8.159)	247.1, (17.81)
² 0.6	-321.1	330.5	3.50, (12.33)	315.8, (22.76)
¹ elastic linear half-space model; ² quasi-linear elastic layered soil medium				

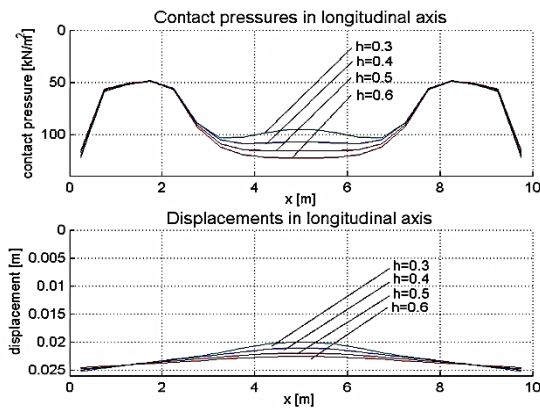


Figure 16 – Comparison of contact pressures and displacements for combined footing on elastic half-space depending on different beam height

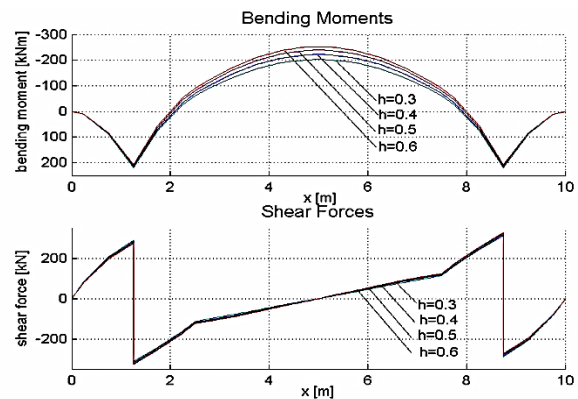


Figure 17 – Comparison of bending moments and shear forces for combined footing on elastic half-space depending on different beam height

Conclusions

In this work the procedure for the combined footing analysis using the finite difference method is presented.

Analysis results show that more realistic contact pressure distribution can be determined by taking into account mutual interaction of the rigid and flexible parts of combined footing system.

From presented results it is shown that interaction can cause significant amount of load to be redistributed from rigid footings to the foundation beam so the bending moments and shear forces distributions are affected by the interaction too.

It is quite interesting that the foundation beam rigidity change in the rather large scale does not have so significant influence on the interaction as it could be supposed. From conducted parametric analysis can be concluded that the analysis results more depend on implemented soil model.

Obtained results indicate that mutual interaction of the rigid and flexible parts of combined footing should be taken into consideration when calculating combined foundation systems in shallow foundation design to account for mutual interaction effects of the footing system parts to determine bending moments and shear forces accurately. In the conditions of inaccurately evaluated bending moments and shear forces construction can be exposed to the ex-

cess tensional and shear stresses mo, which can lead to the crack occurrence.

Although in the presented analysis relatively simple soil models are used it can be further improved by implementing more refined soil models, to enable taking into account more complex soil properties.

The conducted analysis demonstrate that finite difference method can be sufficiently well be adapted for meeting the boundary conditions of combined foundation system. It is also shown that developed algorithm is applicable for analysis of the combined shallow foundation system in order to determine contact stresses and displacements distributions which is necessary for foundation design. Accordingly, the other parameters for foundation design as bending moments and shear forces can be determined more accurately.

References

- [1]Coduto, D. Foundation Design: Principles and Practices, Second (International) Edition, Prentice Hall, New York, 2004.
- [2]Bowles, J.E. Foundation analysis and design, McGraw-Hill Book Company, New York, 1982 – 816 p.
- [3]Fuchs, C., Kaliakin, V. N. Footing Settlement Simulations: Modeling Considerations, *Pro-*

ceedings of EM2000, 14th Engineering Mechanics Conference, ASCE, J. Tassoulas, ed., Austin, Texas, 2000.

[4] Wang, Y. H., Tham, L. G., Cheung, Y. K. Beams and plates on elastic foundations: A review, *Progress in Structural Engineering and Materials* 7.4 (2005): P. 174 – 182.

[5] Aleynikov S. M., Nekrasova, N. N. Contact Problem for Orthotropic Foundation Slabs with Consideration of deformation Peculiarities of Spatial and Nonhomogenous Bases, *Studia Geotechnica et Mechanica*, 20.1-2 (1998): P. 63 – 104.

[6] Aleynikov S. M., Ikonin, S. V. Prevention of non - uniform Settlement of Foundation, *Building Research Journal* 44.2 (1996): P. 509 – 512.

[7] Aleynikov S. M. Contact Problems for Half - space with Limit Contact Pressure.

[8] Hemsley, J. A. Elastic analysis of raft foundations, Thomas Telford, London, 1998.

[9] Milovic, S. D. Stresses and displacements for shallow foundations, Elsevier, Amsterdam, 1992 – p. 620.

[10] Baidya, D. K. Settlement computation – A simplified method, In: *Geotechnical Hazards*, B. Marić, Z. Lisac, A. Szavits-Nossan, eds., P.183 – 188, Balkema, Rotterdam, 1998.

[11] Dempsey, J.P., Li, H. A rigid rectangular footing on an elastic layer, *Geotechnique*, 39.1 (1989): P. 509 – 512.

[12] Soldo, B., Orešković, M., Dragojević, N. Analysis of Bending of Foundation

Girders on the Ground, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 15.H (2010): P.853 – 860.

[13] Soldo, B., Ivandić, K. Testing of Rectangular Beams on a Layered Soil, *Soil Mechanics and Foundation Engineering* 47.2 (2010): P. 40 – 44.

[14] T. Guzman, Heavily loaded strap footing-design, detailing and behavior, *Structure Magazine*, 6.12 (2010): P. 12 – 15.

[15] Al Shamrani M. A., Al-Mashary F. A. Soil - Structure Interaction Effects on Soil Settlements and Structural Forces, *Proceedings of EM2000, 14th Engineering Mechanics Conference*, ASCE, J. Tassoulas, ed., Austin, Texas, 2000.

[16] V. Garg, M.S. Hora: A review on interaction behaviour of structure-foundation-soil system, *IJERA* 2.6 (2012): P. 639 – 644.

[17] Qubain, B. S., Kaliakin, V. N., Martin, J. P. Interaction of Adjacent Strip and Spread Footings on Sand. In: J. Tassoulas, ed., *Proceedings of EM2000, 14th Engineering Mechanics Conference*, ASCE, Austin 2000.

[18] Boussinesq, J. Applications des potentiels a l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques, Gauthier Villars, Paris, 1885.

Надійшла до редакції 09.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф. Коломієць Л.В., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

Томислав Копрек, Божо Солдо, д.т.н., Алексей Анискин

КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА КОМБИНИРОВАННОЙ ОПОРЫ, КОТОРАЯ ОСНОВЫВАЕТСЯ НА УПРУГОМ ПОЛУПРОСТРАНСТВЕ

Была проанализирована контактная задача комбинированной опоры, которая основывается на упругом полупространстве, или стратифицированном упругом основании. В отличие от упрощенных общих предположений и методов проектирования такого основания, здесь анализ был проведен на двух жестких опорах, соединенных упругой гибкой фундаментальной балкой с учетом различных характеристик отдельных частей фундамента (жесткие против гибких) и условия непрерывности на их соединениях, с акцентом на их взаимовлияния, связанные с основным распределением нагрузки почвы. Численный анализ был выполнен комбинированием конечных разностей и методом граничных элементов на одинаковой четырехсторонней сетке.

Ключевые слова: комбинированный фундамент, взаимодействие, упругое полупространство, упругая многослойная среда, метод конечных элементов, метод граничных элементов, согласование.

Томіслав Копрек, Божо Солдо, д.т.н., Олексій Аніскін

КОНТАКТНА ЗАДАЧА КОМБІНОВАНОЇ ОПОРИ, ЩО ҐРУНТУЄТЬСЯ НА ПРУЖНОМУ ПІВПРОСТОРІ

Була проаналізована контактна задача комбінованої опори, яка ґрунтується на пружному півпросторі, або стратифікованій пружній основі. На відміну від спрощених загальних припущень і методів проектування такої основи, тут аналіз був проведений на двох жорстких опорах, сполучених пружною гнучкою фундаментальною балкою з урахуванням різних характеристик окремих частин

фундаменту (жорсткі проти гнучких) і умови безперервності на їх з'єднаннях, з акцентом на їх взаємовплив, пов'язані з основним розподілом навантаження ґрунту. Чисельний аналіз був виконаний комбінуванням кінцевих різниць і методом граничних елементів на однаковій чотиристоронній сітці.

Ключові слова: комбінований фундамент, взаємодія, пружний півпростір, пружна багатошарова середовище, метод кінцевих елементів, метод граничних елементів, узгодження.

УДК 519.878.5

В. Ф. Оробей¹, д.т.н., **А. Ф. Дашенко¹**, д.т.н., **Л. В. Коломієць²**, д.т.н., **О. М. Лимаренко¹**, к.т.н.

¹Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса

²Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

МЕТОД ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗАДАЧАХ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОСКОЙ ФОРМЫ ИЗГИБА БАЛОК ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ.

Представлен алгоритм решения задач устойчивости плоской формы изгиба балок прямоугольного сечения (тонкой полосы) с помощью численно-аналитического варианта метода граничных элементов. Целью работы является построение новых решений дифференциальных уравнений задач устойчивости. Балки с сечениями в виде узкой полосы имеют более высокую прочность и жесткость, однако, при поперечной нагрузке, возникает опасность потери устойчивости плоской формы изгиба. В этом случае балка дополнительно изгибается в другой плоскости и закручивается. Возникает изгибно-крутильная форма потери устойчивости, при которой появляются большие перемещения и может наступить разрушение конструкции. Теория решения подобных задач нуждается в развитии, т.к. существующие результаты весьма сложно распространить на неразрезные балки и рамы. Метод граничных элементов позволяет существенно упростить процесс решения, повысить точность и достоверность результатов и распространить полученные решения на более сложные конструкции, чем просто балки. Расчеты критических сил выполнены в среде MATLAB.

Ключевые слова: метод граничных элементов, устойчивость плоской формы изгиба, балки прямоугольного сечения, MATLAB.

Балки с сечением в виде узкой полосы имеют более высокую прочность и жесткость. В этой связи они имеют большое применение в различных балочных и рамных конструкциях машиностроения, строительства, мостов и т.д. Однако, при большом отношении высоты к ширине сечения, возникает реальная опасность потери устойчивости плоской формы изгиба такой балки. Она дополнительно получает прогибы в другой плоскости и углы закручивания. Если перемещения оказываются слишком большими, конструкция разрушается. Поэтому весьма важно иметь надежную, достоверную и достаточно простую теорию решения таких задач устойчивости.

Первые решения задач устойчивости плоской формы изгиба балок с сечением в виде узкой полосы были получены еще в 19 веке [1]. К настоящему времени решено достаточно много задач этого типа [2, 3]. При решении задач устойчивости балок под действием поперечной нагрузки дифференциальное уравнение и его решение записывалось для угла закручивания. В решении использовались функции, представляющие собой бесконечные

знакопередающиеся степенные ряды. В этом случае точность результата зависит от числа членов ряда, что не всегда удобно. Кроме того, имеющиеся решения весьма сложно использовать для решения задач устойчивости неразрезных балок и рам, поскольку они неполные (не включают другие параметры). Если же применить к этим задачам алгоритм численно-аналитического метода граничных элементов (МГЭ) [4], то появится возможность существенно упростить процедуру решения, повысить точность и достоверность результатов и применять новые решения дифференциальных уравнений в более сложных конструкциях, чем простые балки.

Целью работы является построение новых решений дифференциальных уравнений задач устойчивости плоской формы изгиба балок с сечением в виде узкой полосы и применение этих решений в конкретных задачах.

Дифференциальное уравнение устойчивости двутавровой балки вывел С. П. Тимошенко [1].

$$\begin{cases} EI_y w^{IV}(x) + M_z(x) \theta''(x) = 0; \\ EI_\omega \theta^{IV}(x) - GI_d \theta''(x) + M_z(x) w''(x) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где

$w(x)$ – перемещение точки оси стержня в направлении оси Oz;

$\theta(x)$ – угол закручивания стержня вокруг оси Ox;

EI_y – изгибная жесткость сечения стержня

в плоскости xOz;

EI_ω – секториальная жесткость;

GI_d – жесткость при кручении;

$M_z(x)$ – изгибающий момент в сечении стержня относительно оси Oz, вызванный заданной поперечной нагрузкой (рис.1)

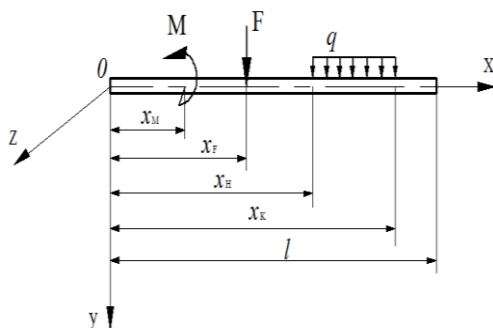


Рисунок 1 – Виды поперечной нагрузки

Поскольку прямоугольное сечение также имеет две оси симметрии, то систему уравнений (1) можно использовать для этого случая при существенном упрощении. Тонкое прямоугольное сечение при кручении имеет весьма малую величину депланации и членом $EI_\omega \theta^{IV}(x)$ можно пренебречь. Уравнения устойчивости стержня с прямоугольным сечением запишутся в виде

$$\begin{cases} EI_y w^{IV}(x) + M_z(x) \theta''(x) = 0; \\ -GI_d \theta''(x) + M_z(x) w''(x) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

		1	2	3	4
$EI_y w(x)$	1	1	x	$-A_{13}$	$-A_{14}$
$EI_y \varphi(x)$	2		1	$-A_{23}$	$-A_{24}$
$M_y(x)$	3			A_{33}	A_{34}
$Q_z(x)$	4			A_{43}	A_{44}

 $=$

$EI_y w(0)$
$EI_y \varphi(0)$
$M_y(0)$
$Q_z(0)$

 $,$

$$(7)$$

где $EI_y \varphi(x)$, $M_y(x)$, $Q_z(x)$ – параметры изгиба стержня в горизонтальной плоскости xOz.

Ортонормированные фундаментальные функции имеют вид:

Из последнего уравнения системы (2) следует зависимость между углом закручивания и прогибом стержня

$$-GI_d \theta(x) + M_z(x) w(x) = Ax + B, \quad (3)$$

где константы интегрирования определяются из начальных условий

$$\begin{aligned} B &= -GI_d \theta(0) + M_z(0) \cdot w(0); \\ A &= -GI_d \theta'(0) + M_z(0) \cdot w'(0). \end{aligned} \quad (4)$$

Из второго уравнения системы (2) следует, что

$$\theta''(x) = \frac{M_z(x)}{GI_d} w'(x), \quad (5)$$

Подставляя (5) в первое уравнение системы (2), получаем уравнение устойчивости стержня прямоугольного сечения

$$w^{IV}(x) + \frac{M_z^2(x)}{GI_d EI_y} \cdot w''(x) = 0. \quad (6)$$

Данное уравнение является обыкновенным дифференциальным уравнением с переменными коэффициентами. Его интегрирование приводит к существенным математическим трудностям, особенно, когда изгибающий момент $M_z(x)$ имеет несколько законов изменения, точки разрыва 1-го рода и точки излома. Все эти трудности преодолеваются, если применить к решению задач устойчивости алгоритм МГЭ [4]. С этой целью представим решение уравнения (6) для случая, когда жесткости GI_d , EI_y и изгибающий момент M_z постоянны по длине стержня. Видно, что уравнение (6) по форме записи не отличается от уравнения продольно-поперечного изгиба прямолинейного стержня, когда продольная сила сжимающая [5]. Его решение в матричной форме принимает вид:

$$\begin{aligned} A_{13} &= \frac{1 - \cos nx}{n^2}; & A_{14} &= \frac{nx - \sin nx}{n^3}; \\ A_{23} &= \frac{\sin nx}{n}; & A_{33} &= \cos nx; \\ A_{43} &= -n \sin nx; & n &= \sqrt{\frac{M_z^2}{GI_d EI_y}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Из представленного решения следует, что задачи устойчивости стержня с прямоугольным сечением описываются сравнительно простыми тригонометрическими функциями. Параметры кручения в решении (7) не участвуют, но существует связь между изгибом и кручением в виде соотношения (3). При формировании краевых задач используются граничные условия балки в горизонтальной плоскости xOz . Если M_z есть функция $M_z = M_z(x)$, то эпюру моментов разбивают на m частей, в пределах которых $M_{zi} = \text{const}$ и решение (7) по алгоритму МГЭ можно использовать для различных задач устойчивости. При достаточно большом m получаются результаты, близкие к точным. Рассмотрим отдельные задачи устойчивости балок.

Результаты научных исследований. Балки с постоянным сечением, у которых $M_z = \text{const}$. К таким балкам относятся конструкции, у которых граничные точки имеют шарнирное опирание в

вертикальной плоскости xOy , нагруженные сосредоточенными моментами по концам. В горизонтальной плоскости xOz могут быть различные условия опирания. Поперечная нагрузка считается приложенной к продольной оси стержней. Изгибающий момент M_z удобно представить выражением

$$M_z = a_M \cdot M + a_F \cdot F + a_q \cdot q, \quad (9)$$

где a_M, a_F, a_q – изгибающие моменты, вызванные соответствующей поперечной нагрузкой, равной единице;

M, F, q – критические значения поперечной нагрузки. Для определения критических значений нагрузки необходимо составить уравнение краевой задачи и найти корни трансцендентного уравнения МГЭ [4, 5]

$$|A_*(M, F, q, l)| = 0, \quad (10)$$

где $A_*(M, F, q, l)$ – преобразованная по алгоритму МГЭ матрица коэффициентов уравнения (7). Составим эти матрицы для ряда задач.

Задача 1. Балка имеет шарнирное опирание в двух плоскостях.

При граничном значении $x=l$ будем иметь:

$$\begin{array}{c} \begin{array}{c} A_* \\ \begin{array}{ccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{array} & \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & 1 & & -A_{14} \\ \hline -1 & 1 & & -A_{13} \\ \hline & & & A_{23} \\ \hline & & -1 & A_{33} \\ \hline \end{array} & \begin{array}{|c|} \hline EI_y \omega(0) = 0; EI_y \varphi(l) \\ \hline EI_y \varphi(0) \\ \hline M_y(0) = 0; Q_z(l) \\ \hline Q_z(0) \\ \hline \end{array} & \begin{array}{c} Y \\ \begin{array}{|c|} \hline EI_y \omega(l) = 0 \\ \hline EI_y \varphi(l) \\ \hline M_y(l) = 0 \\ \hline Q_z(l) \\ \hline \end{array} \end{array} \end{array} \end{array} = 0 \quad (11)$$

Из матрицы начальных параметров A_* следует, что в матрице A_* нужно обнулить 1 и 3 столбцы, т. к. они связаны с нулевыми параметрами. На их место переносятся ненулевые параметры матрицы Y , что приводит к появлению в матрице A_* компенсирующих элементов $A_*(2,1) = -1$; $A_*(4,3) = -1$. Компенсирующие элементы равны коэффициентам при переносимых параметрах и должны находиться в матрице A_* на месте (i, j) , где i – старый адрес (номер строки матрицы Y), j –

новый адрес (номер строки матрицы X_*) параметра. Другими словами, выполняется цепочка матричных элементарных преобразований

$$\begin{aligned} Y(l) &= A(l) \cdot X(0) \rightarrow A(l) \cdot X - Y(l) = 0 \rightarrow \\ &\rightarrow A_*(l) \cdot X_*(0, l) = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Из последнего равенства следует уравнение МГЭ для определения критических значений поперечной нагрузки (10). Для данной задачи корни уравнения (10) могут быть определены аналитически. Определитель матрицы $A_*(M, l)$ равен

$$|A_*(M, l)| = l \cdot A_{23} + 0 \cdot A_{14} = 0. \quad (13)$$

Если подставить в уравнение (13) значения фундаментальной функции A_{23} , то получим уравнение

$$\sin nl = 0 \rightarrow M_1 = \frac{\pi}{l} \sqrt{GI_d \cdot EI_y}, \quad (14)$$

что является точным решением [2, 3].

Задача 2. Балка имеет жесткие заделки в горизонтальной плоскости. Определитель уравнения (10) этого случая имеет вид

$$|A_*(M, l)| = A_{13}^2 - A_{14} \cdot A_{23} = 0. \quad (15)$$

Корень данного уравнения необходимо искать с помощью компьютера. Для решения этой и других задач приняты следующие исходные данные:

$$E = 2 \cdot 10^8 \text{ кН} / \text{м}^2; \quad G = 0,8 \cdot 10^8 \text{ кН} / \text{м}^2;$$

$$b = 0,01 \text{ м}; \quad h = 0,1 \text{ м}; \quad l = 1,0 \text{ м}.$$

$$I_y = hb^3 / 12 = 8,333 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4;$$

$$I_d = \beta hb^3 = 0,313 \cdot 0,1 \cdot 0,01^3 = 31,3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4;$$

$$EI_y = 1,666 \text{ кНм}^2; \quad GI_d = 2,504 \text{ кНм}^2;$$

После подстановки этих данных в программу, первый корень (критическое значение) уравнения (15)

$$M_1 = 12,841 \text{ кНм};$$

или в безразличной форме

$$M_1 = \frac{2\pi}{l} \sqrt{GI_d \cdot EI_y}, \quad (16)$$

что также является точным решением [2,3].

Задача 3. Балка имеет жесткую заделку и шарнирное опирание в горизонтальной плоскости. Определитель уравнения (10) имеет вид

$$|A_*(M, l)| = -A_{13} \cdot A_{23} + A_{14} \cdot A_{33} = 0. \quad (17)$$

Первый корень будет равен

$$M_1 = 9,175 \text{ кНм} \rightarrow M_1 = \frac{4,491}{l} \sqrt{GI_d \cdot EI_y} \quad (18)$$

Данный результат отсутствует в справочных данных [2, 3].

Задача 4. Консольная балка нагруженная на конце сосредоточенным моментом. В данном случае

$$|A_*(M, l)| = A_{33}^2 - A_{23} \cdot A_{43} = 0. \quad (19)$$

Если подставить значения фундаментальных функций в это уравнение, то получим невыполнимое равенство

$$\cos^2 nx + \sin^2 nx = 1 = 0. \quad (20)$$

Это свидетельствует о том, что неполное уравнение устойчивости (7) не позволяет определить критические нагрузки. Необходимо дополнить его параметрами кручения. Дифференциальное уравнение устойчивости для угла закручивания имеет вид [2]

$$\theta'' + \frac{M_z^2(x)}{GI_d \cdot EI_y} \theta(x) = 0. \quad (21)$$

Данное уравнение по форме записи не отличается от уравнения крутильных колебаний

$$\begin{bmatrix} GI_d \theta(x) \\ M_{кр}(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos nx & \frac{\sin nx}{n} \\ -n \sin nx & \cos nx \end{bmatrix} \begin{bmatrix} GI_d \theta(0) \\ M_{кр}(0) \end{bmatrix}. \quad (22)$$

призматического стержня. Поэтому его решение в матричной форме запишется в виде [5]

Если применить операцию квазидиагонализации, то полное решение уравнения устойчивости стержня прямоугольного сечения предстанет следующим образом

$$\begin{bmatrix} EI_y w(x) \\ EI_y \varphi(x) \\ M_y(x) \\ Q_z(x) \\ GI_d \theta(x) \\ M_{кр}(x) \end{bmatrix} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{matrix} = \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \begin{bmatrix} 1 & x & - & - & & \\ & 1 & - & - & & \\ & & A_{23} & A_{13} & & \\ & & A_{33} & A_{23} & & \\ & & A_{43} & A_{33} & & \\ & & & & A_{33} & A_{23} \\ & & & & A_{43} & A_{33} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} EI_y w(0) \\ EI_y \varphi(0) \\ M_y(0) \\ Q_z(0) \\ GI_d \theta(0) \\ M_{кр}(0) \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (23)$$

Применим это уравнение к данной задаче

	①	②	3	4	⑤	6
1	-1		-A ₁₃	-A ₁₄		
2		-1	-A ₂₃	-A ₁₃		
3			A ₃₃	A ₂₃		
4			A ₄₃	A ₃₃		
5					-1	A ₂₃
6						A ₃₃

$EI_y w(0) = 0; EI_y w(l)$	←	$EI_y w(l)$
$EI_y \varphi(0) = 0; EI_y \varphi(l)$	←	$EI_y \varphi(l)$
$M_y(0)$		$M_y(l) = 0$
$Q_z(0)$	-	$Q_z(l) = 0$
$GI_d \theta(0) = 0; GI_d \theta(l)$	←	$GI_d \theta(l)$
$M_{xp}(0)$		$M_{xp}(l) = 0$

$$= 0 \quad (24)$$

Уравнение устойчивости данной балки

$$|A_*(M, l)| = (A_{33}^2 - A_{23} \cdot A_{43}) \cdot A_{33} = 0 \quad (25)$$

имеет первый корень

$$M_1 = \frac{\pi}{2l} \sqrt{GI_d \cdot EI_y}, \quad (26)$$

что является точным результатом [2, 3].

Балки с постоянным сечением и

$$M_z = M_z(x).$$

Данный случай широко распространен в практике. В работе предлагается краевую задачу для уравнения с переменным коэффициентом решать с помощью фундаментальных функций данного уравнения, но с постоянным коэффициентом. С этой целью балка дискретизируется на m частей. Например, при разбивке балки с шарнирными опорами на 3 получим:

1	$w_{(0)}^{0-1} = 0; \varphi_{(l)}^{2-3}$
2	$\varphi_{(0)}^{0-1}$
3	$M_{y(0)}^{0-1} = 0; Q_z^{2-3}(l)$
4	$Q_z^{0-1}(0)$
5	$w_{(0)}^{1-2}$
6	$\varphi_{(0)}^{1-2}$
7	$M_{y(0)}^{1-2}$
8	$Q_z^{1-2}(0)$
9	$w_{(0)}^{2-3}$
10	$\varphi_{(0)}^{2-3}$
11	$M_{y(0)}^{2-3}$
12	$Q_z^{2-3}(0)$

$$X_* =$$

1	$w_{(l)}^{0-1} = w_{(0)}^{1-2}$
2	$\varphi_{(l)}^{0-1} = \varphi_{(0)}^{1-2}$
3	$M_y^{0-1}(l) = M_{(0)}^{1-2}$
4	$Q_z^{0-1}(l) = Q_z^{1-2}(0)$
5	$w_{(l)}^{1-2} = w_{(0)}^{2-3}$
6	$\varphi_{(l)}^{1-2} = \varphi_{(0)}^{2-3}$
7	$M_y^{1-2}(l) = M_{(0)}^{2-3}$
8	$Q_z^{1-2}(l) = Q_z^{2-3}(0)$
9	$w_{(l)}^{2-3} = 0$
10	$\varphi_{(l)}^{2-3}(l)$
11	$M_{(l)}^{2-3} = 0$
12	$Q_z^{2-3}(l)$

$$Y =$$

$$. \quad (27)$$

Из матрицы X_* следует, что в матрице A_* нужно обнулить 1 и 3 столбцы и ввести компенсирующие элементы $A(10,1) = -1$; $A(12,3) = -1$. Другие компенсирующие элементы, связанные с равенствами

кинематических и статических параметров во внутренних точках балки, образуют диагональ из (-1) . Матрица уравнения для критической нагрузки (10) в этом случае примет вид:

$$\mathbf{A}^* = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & 12 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \\ 12 \end{matrix} & \begin{bmatrix} & l^{0-1} & & -A_{44}/EI_y & -1 & & & & & & & \\ & 1 & & -A_{43}/EI_y & & -1 & & & & & & \\ & & & A_{23} & & & -1 & & & & & \\ & & & A_{33} & & & & -1 & & & & \\ \hline & & & & 1 & l^{1-2} & -A_{43}/EI_y & -A_{44}/EI_y & -1 & & & \\ & & & & & 1 & -A_{23}/EI_y & -A_{43}/EI_y & & -1 & & \\ & & & & & & A_{33} & A_{23} & & & -1 & \\ & & & & & & A_{43} & A_{33} & & & & -1 \\ \hline & & & & & & & & 1 & l^{2-3} & -A_{43}/EI_y & -A_{44}/EI_y \\ & -1 & & & & & & & & 1 & -A_{23}/EI_y & -A_{43}/EI_y \\ & & & & & & & & & & A_{33} & A_{23} \\ & & & -1 & & & & & & & A_{43} & A_{33} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (28)$$

Для упрощения уравнений стыковки участков (см. матрицу $\mathbf{Y}$ (27)) в матрицу $\mathbf{A}^*$ введены жесткости EI_y . Малое число участков балки приводит к грубой аппроксимации функции $M_z(x)$ и критические значения получается неточными. При увеличении числа участков m можно определить граничное его значение, при котором уточнение критических

сил не происходит. Матрица $\mathbf{A}^*$ имеет при этом соответствующий размер. Рассмотрим тестовый пример.

Задача 5. Балка с шарнирным опиранием в двух плоскостях, нагруженная сосредоточенной силой F . Используется матрица $\mathbf{A}^*$ (28) при $m=50$. Результаты решения сведены в таблицу 1

Таблица 1 – Критические силы при изменении координат силы F

Координата силы F	0,1l	0,2l	0,3l	0,4l	0,5l
МГЭ	56,03	29,12	21,01	17,83	16,95
Данные [2]	56,01	29,11	21,01	17,82	16,94
Погрешность %	0,04	0,03	0,0	0,06	0,06

Задача 6. Балка с шарнирным опиранием в вертикальной плоскости xOy и заделками, в горизонтальной плоскости xOz , нагруженная сосредоточенной силой F . В матрице $\mathbf{A}^*$ (28) нужно обнулить 1, 2 и 5 столбцы и ввести. Вычисления критических сил показывают, что при $m \geq 30$ их уточнение практически заканчивается. Результаты данной задачи при

$m = 50$ и полным решением (23) сведены в таблицу 2.

Задача 7. Балка с различными граничными условиями, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой. Применив предлагаемый алгоритм МГЭ, результаты решения сведены в таблицу № 3

Таблица 2 – Критические силы задачи 6

Координата силы F	0,1l	0,2l	0,3l	0,4l	0,5l
МГЭ	88,45	45,96	33,21	28,20	26,79
Данные [2]	177	53,2	35,2	28,5	26,7
Погрешность %	24,40	13,60	5,66	1,07	0,32

Таблица 3 – Критические силы при действии равномерно распределенной нагрузки

Краевые условия опирания	МГЭ	Данные [2]	Погрешность %
Шарнирное опирание в двух плоскостях	28,32	28,31	0,03
Шарнирное опирание в пл. xOy; шарнирное опирание и заделка в пл. xOz	39,77	39,6	0,44
Шарнирное опирание в пл. xOy; заделка в пл. xOz	44,79	48,6	7,84

Задача 8. Балка с различными граничными условиями, нагруженная сосредоточенным моментом. В справочных данных [2, 3] приведены результаты решения задач устойчивости балок с охватом возможных условий опирания при действии распределенной нагрузки по всей длине и сосредоточенных сил. Отсутствуют задачи, когда сосредоточенный момент находится в пролете балок. Здесь

необходимо учитывать разрыв 1-го рода в функции изгибающего момента $M_z(x)$. По видимому сложности с учетом этого фактора и повлияли на отсутствие решений этих задач. В алгоритме МГЭ эти трудности снимаются. В таблице 4 представлены результаты для критических значений сосредоточенных моментов при $m = 50$.

Таблица 4 – Критические моменты балок, нагруженные сосредоточенным моментом

Краевые условия опирания	Координата сосредоточенного момента M									
	0,0l	0,1l	0,2l	0,3l	0,4l	0,5l	0,6l	0,7l	0,8l	0,9l
Шарнирное опирание в двухплоскостях	5,56	5,65	6,09	6,88	7,91	8,49	7,91	6,88	6,09	5,65
Шарнирное опирание в пл. xOy; шарнирное опирание и заделка в пл. xOz	6,51	6,83	7,51	8,88	10,70	11,72	10,99	10,21	9,57	8,93
Шарнирное опирание в пл. xOy; Заделки в пл. xOz	8,79	8,93	9,57	10,84	12,46	13,39	12,46	10,84	9,57	8,93

Здесь следует сделать замечание, что данные таблицы 4 приближенно отражают критические значения моментов. Связано это с тем, что дифференциальные уравнения (2) и их решения (7), (22), (23) нечувствительны к знаку изгибающего момента $M_z(x)$. Поэтому задача 8 решена при положительных значениях

изгибающего момента M_z . Точное решение можно получить, если использовать дифференциальное уравнение (1) и соответствующую систему фундаментальных ортонормированных функций [4], которая как раз и учитывает знак $M_z(x)$.

Задача 9. Консольная балка имеет высоту сечения, меняющуюся по закону

$$h = h_0(1 - x/l)^{1/\kappa} \quad (29)$$

Балка также дискретизируется на m частей. Для каждой части вычисляются изгибающий момент M_{zi} при расширенной нагрузке q в точке с координатой $x = x_i/\sqrt{3}$, где x_i – длина

i -го участка балки; при сосредоточенной силе – $x = x_i/2$ [4]. Жесткость при изгибе EI_{yi} и кручении GI_{di} вычислялись в середине каждого участка. В остальном алгоритм не меняется. Результаты решения при $m=0$ приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Критические нагрузки консольной балки с переменной высотой

Способ нагружения		К			
		4	2	1,333	1
Равномерно распределенная нагрузка q	МГЭ	18,14	15,81	13,68	11,43
	Данные [2]	12,8	11,2	10,4	9,6
	Погрешность, %	41,72	41,16	31,54	19,06
Сосредоточенная нагрузка F в середине пролета	МГЭ	5,26	4,13	3,01	1,93
	Данные [2]	3,61	3,21	2,81	2,40
	Погрешность, %	45,71	28,66	7,12	19,58

В качестве иллюстрации и сравнения с имеющей шарнирное опирание в двух данных таблицы 5, в таблице 6 приведены плоскостях. критические нагрузки такой же балки, по

Таблица 6 – Критические нагрузки шарнирно опертой балки с переменной высотой

Способ нагружения		К			
		4	2	1,333	1
Равномерно распределенная нагрузка q		23,32	18,82	14,76	11,19
Сосредоточенная нагрузка F в середине пролета		14,07	11,48	9,28	7,27

Выводы

Представленные задачи устойчивости плоской формы изгиба балок с сечением в виде узкой полосы показывает, что модель (7), (23) и алгоритм численно-аналитического варианта МГЭ позволяют получить точные и достоверные результаты при постоянных и переменных значениях изгибающего момента M_z и жесткостей EI_y , GI_d . Могут быть учтены произвольная внешняя нагрузка, множество законов изменения момента M_z , точек излома и разрыва 1-го рода. Не представляет трудностей применение предложенного подхода для решения задач устойчивости более сложных конструкций типа неразрезных балок и рам [4].

Список использованных источников

1. Власов В. З. Тонкостенные упругие стержни/ В. З. Власов. – М. –Л. Физматиз, 1959 – 568 с.

2. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в 3-х томах/ Под ред. И. А. Биргера и Я. Г. Пановно. – М.: Машиностроение, 1968. – Т.3. – 569 с.

3. Смирнов, А. Ф. Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений/ А. Ф. Смирнов, А. В. Александров, Б. Я. Лашеников, Н. Н. Шапошников. – М.: Стройиздат, 1984. – 416 с.

4. Дашенко А. Ф. Численно-аналитический метод граничных элементов/ А. Ф. Дашенко, Л. В. Коломиец, В. Ф. Оробей, Н. Г. Сурьянинов. – Одесса: ВМВ, 2010. – Т.1. – 416 с.

5. Баженов В. А. Строительная механика. Специальный курс. Применение МГЭ/ В. А. Баженов, А. Ф. Дашенко, Л. В. Коломиец, В. Ф. Оробей. – Одесса: Астропринт, 2001. – 288 с.

6. Оробей В. Ф. Метод граничных элементов в задачах с неустойчивыми решениями / В. Ф. Оробей, А. Ф. Дашенко,

А. М. Лимаренко // Пр. Одес. політехн. ун-ту. – Одеса, 2013. Вип.2(41). – С. 27 – 31.

Науково-виробничий журнал Проблеми техніки – Одеса 2009. – С. 114 – 123.

7. Оробей В. Ф. Расчет арок на устойчивость методом граничных элементов / В. Ф. Оробей, А. Ф. Дашенко, А. М. Лимаренко. Одеський національний морський університет, Хмельницький національний університет,

Надійшла до редакції 24.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф. Усов А. В., Одеський національний політехнічний університет, г. Одеса.

В. Ф. Оробей, д.т.н., А. Ф. Дашенко, д.т.н., Л. В. Коломиец, д.т.н., А. М. Лимаренко, к.т.н.

МЕТОД ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЗАДАЧАХ СТІЙКОСТІ ПЛОСКОЇ ФОРМИ ВИГИНУ БАЛОК ПРЯМОКУТНОГО ПЕРЕРІЗУ

Представлено алгоритм розв'язання задач стійкості плоскої форми вигину балок прямокутного перерізу (тонкої смуги) за допомогою чисельно-аналітичного варіанта методу граничних елементів. Метою роботи є побудова нових рішень диференціальних рівнянь задач стійкості. Балки з перерізами у вигляді вузької смуги мають більш високу міцність і жорсткість, однак, при поперечному навантаженні, виникає небезпека втрати стійкості плоскої форми вигину. У цьому випадку балка додатково згинається в іншій площині і закручується. Виникає згинально-крутильна форма втрати стійкості, при якій з'являються великі переміщення і може настати руйнування конструкції. Теорія вирішення подібних завдань потребує розвитку, тому існуючі результати вельми складно поширити на нерозрізні балки і рами. Метод граничних елементів дозволяє істотно спростити процес рішення, підвищити точність і достовірність результатів і поширити отримані рішення на більш складні конструкції, ніж просто балки. Розрахунки критичних сил виконані в середовищі MATLAB.

Ключові слова: метод граничних елементів, стійкість плоскої форми вигину, балки прямокутного перерізу, MATLAB.

V. F. Orobey, ScD, A. F. Dashchenko, ScD, L. V. Kolomiets, ScD, A. M. Lymarenko, PhD.

METHOD OF BOUNDARY ELEMENT IN PROBLEMS OF STABILITY OF PLANE BENDING BEAMS OF RECTANGULAR CROSS SECTION.

An algorithm for solving problems of stability plane bending beams of rectangular section (thin strips) with the help of numerical and analytical variant of the method of boundary elements. The aim is to build new solutions of differential equations of stability problems. Beams with sections in the form of narrow strips have higher strength and stiffness, however, when the transverse load, there is a risk of loss of stability plane bending. In this case, the beam is further bent in another plane and twists. There flexural-torsional buckling, in which there are large displacements and structural failure may occur. The theory of solving such problems needs to be developed, as current results are very difficult to extend to continuous beams and frames. The boundary element method can greatly simplify the process of decisions to improve the accuracy and reliability of the results obtained and disseminate solutions to more complex structure than a beam. Calculations are made of the critical forces in MATLAB environment.

Keywords: boundary element method, the stability of plane bending, rectangular beam, MATLAB.

УДК 681.2.089

Н. В. Глухова, к.т.н.

ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

СПОСОБИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛІВ РЕЄСТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

У роботі розглянуто існуючі проблеми створення метрологічного забезпечення при реєстрації вимірювальної інформації у вигляді візуальних даних. Виконаний аналіз джерел невизначеності при реєстрації, обробці та аналізі аналогових і цифрових зображень газорозрядного випромінювання. Запропоновано способи калібрування вимірювальних каналів, призначених для реєстрації, перетво-

рення та передачі візуальних даних. Розроблені способи та схеми калібрування забезпечують експериментальну оцінку метрологічних характеристик вимірювальних каналів збору візуальних даних.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, вимірювальна інформація, невизначеність вимірювань, калібрування, газорозрядне випромінювання

Вступ.

На сьогоднішній день використання візуальної інформації у різних сферах науки значно поширюється завдяки розвитку інформаційно-вимірювальних технологій. Зокрема це стосується створення нових технологій реєстрації зображень, підвищенню швидкості каналів передачі даних, а також значному покращенню ресурсів обчислювальної техніки, що дозволяє обробляти та зберігати великі обсяги інформації у вигляді візуальних даних.

Паралельно з цим в метрологічному аспекті виникають дві основні задачі: 1) розробка метрологічного забезпечення методів вимірювань, зокрема, способи дослідження метрологічних характеристик каналів збору вимірювальних даних у вигляді зображень; 2) розробка ефективних методів параметризації, тобто вилучення вимірювальної інформації з зображень у вигляді кількісної оцінки значень певних ознак.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Сучасний стан розвитку метрологічного забезпечення методів вимірювань, заснованих на отриманні та аналізі візуальної інформації, можна охарактеризувати лише окремими досягненнями. Відсутні універсальні узагальнюючі роботи, які можна було б використовувати для широкого спектру прикладних задач. Як зазначає автор роботи [1], на сьогодні відсутні дослідження щодо проблем метрологічного забезпечення у галузі візуалізації та цифрової обробки зображень.

По-перше, складність розробки метрологічного забезпечення методів вимірювань, заснованих на реєстрації візуальних даних, полягає у різноманітності завдань, які вирішуються на базі експериментальних досліджень такого роду. Переважна більшість експериментів у метрологічній практиці передбачає отримання кількісної оцінки значення певної фізичної величини унаслідок реалізації відповідної вимірювальної процедури. Якщо на вході вимірювального тракту інформація представлена у вигляді зображення, то це значно ускладнює організацію кількісної оцінки параметрів, оскільки потребує застосування певних процедур обробки і аналізу зображень з метою їх параметризації, тобто виділення обмеженого кола ознак зображень, для яких потрібно оцінити кількісні значення. Таким чином, з метрологічної точки зору ускладнюється сама процедура отримання результату спостережень.

По-друге, з метою переходу від результату

спостережень до результату вимірювань, до кількісної оцінки параметру зображень необхідно додати характеристики його точності, що потребує встановлення метрологічних характеристик засобів отримання вимірювальної інформації візуального характеру.

Найбільш розповсюдженим на сьогодні завданням, яке вирішується на основі методів вимірювань з реєстрацією зображень, є оцінка певних геометричних характеристик (розмірів об'єктів, відстаней між ними, тощо). Питанню розрахунку кількісних значень геометричних параметрів зображень присвячено багато наукових праць [2 – 5]. Однак метрологічному аспекту проблеми приділяється мінімальна увага.

Наприклад, у роботі [2] показано актуальність питання розробки методів розрахунку траєкторій об'єктів, що ґрунтується на спостереженні спеціальних сигнальних об'єктів. Перший етап вирішення завдання полягає у виборі підходів щодо попередньої обробки зображень, метою якої є визначення координат сигнальних об'єктів. Взагалі проблема вирішується завдяки багатократному розв'язанню задачі на декількох послідовних кадрах. Незважаючи на те, що результатом такої процедури є кількісна оцінка конкретних фізичних параметрів, автори зовсім не приділяють увагу розрахунку параметрів точності запропонованого методу.

Зображення є предметом досліджень у широко розвиненій на сьогоднішній день галузі систем технічного зору, які застосовуються для візуального контролю параметрів виробів. Коло завдань, вирішуваних системами технічного зору, включає контроль та вимірювання геометричних параметрів об'єктів. Джерелом вимірювальної інформації систем технічного зору зазвичай виступають різноманітні оптичні сенсори. Обов'язковими компонентами сучасних систем технічного зору є також вимірювальні перетворювачі та обчислювальні пристрої з відповідним програмним забезпеченням. Зрозуміло, що розробка метрологічного забезпечення таких систем повинна охоплювати усі ці складові. У роботі [3] вказується на складність експериментального дослідження джерел невизначеності вимірювань при формуванні та передачі зображень у системах технічного зору. Зокрема розглядається питання виникнення «геометричного шуму», під яким розуміється вплив випадкових шумів на формування зображення, які призводять до спо-

творення дійсних значень геометричних ознак зображень. Джерелом «геометричних шумів» можуть виступати оптичні завади, вібрації під час реєстрації візуальних даних, забруднюючі фактори в оптичній системі. Автор роботи [3] особливо підкреслює складність усунення такого роду впливів на метрологічні характеристики систем технічного зору.

Метою досліджень є розробка способів експериментального встановлення метрологічних характеристик каналів реєстрації зображень газорозрядного випромінювання.

Порівняльний аналіз способів реєстрації зображень газорозрядного випромінювання. Існуючі методи реєстрації зображень газорозрядного випромінювання [6] можна поділити на три групи: аналогові, цифрові та комбіновані.

Аналогова форма отримання зображень випромінювання об'єктів різноманітної фізичної природи передбачає застосування у якості сенсорного елементу фотоматеріалу: фотоплівки або рентгенівської плівки. Зрозуміло, що аналоговий метод поступово втрачає свої позиції завдяки розвитку більш сучасних та зручних цифрових технологій.

Цифрова форма реєстрації зображень газорозрядного випромінювання в цілому вважається більш перспективною, оскільки побудована на більш простій та зручній формі реєстрації даних на основі застосування ПЗЗ-матриці. Такий підхід усуває необхідність здійснення багатьох трудомістких операцій аналогової фотографії: використання фотоматеріалів при певних умовах освітлення, виконання процедури проявлення.

Незважаючи на це, на сьогоднішній день серед користувачів та дослідників у галузі електрофотографії (це друга назва методу газорозрядного випромінювання) залишається багато прихильників аналогового, «класичного» методу реєстрації зображень світіння об'єктів в імпульсному електромагнітному полі високої напруженості. Повний перелік переваг аналогової форми реєстрації детально проаналізований у роботі [7].

Ключовим моментом реєстрації в аналоговій формі, тобто на фотоматеріалі, є забезпечення можливості отримання якісної картини розповсюдження газових розрядів безпосередньо по поверхні фотоматеріалу в моноімпульсному режимі збудження.

Саме такий режим дозволяє розв'язати ряд важливих питань. По-перше, якщо газорозрядна візуалізація застосовується з метою медичних досліджень (що передбачає вплив зовнішнього електромагнітного поля на фаланги пальців людини), то моноімпульсний режим мінімізує вплив електромагнітного поля на організм люди-

ни. По-друге, в метрологічному аспекті моноімпульсний режим збудження дозволяє апаратним способом позбавитися динамічної складової невизначеності вимірювань.

На останньому питанні слід зупинитися більш детально, оскільки режим збудження має безпосередній суттєвий вплив на формування сумарної невизначеності вимірювань методу газорозрядного випромінювання.

При впровадженні моноімпульсного режиму збудження забезпечується отримання однієї корони світіння, окремі фрагменти якої (газорозрядні стримери) сформувалися під впливом одного короткочасного впливу імпульсу зовнішнього електромагнітного поля. У такому разі динамічна складова похибки дорівнює нулю, що досягається належною організацією вимірювальної процедури.

Відомі на сьогоднішній день методи цифрової реєстрації картини світіння об'єктів в імпульсному електромагнітному полі не дозволяють якісний ввід зображення при моноімпульсному режимі [7]. Чутливість сучасних ПЗЗ-матриць, що є сенсорними елементами фотокамер та відеокамер, вимагає використання багатоімпульсного режиму формування картин газорозрядного випромінювання.

Якщо проаналізувати цей процес з метрологічної точки зору, то такий режим збудження породжує наявність динамічної складової похибки вимірювань. Це обумовлено тим, що при багатократному збудженні кінцева картина світіння являє собою суперпозицію з декількох зображень. Зафіксовані фрагменти газорозрядної корони, представлені на одному зображенні, насправді формуються під впливом декількох окремих імпульсів зовнішнього електромагнітного поля. При цьому необхідно прийняти до уваги, що кожний імпульс зовнішнього впливу змінює властивості досліджуваного об'єкту (фізичного або біологічного). Це обумовлює той факт, що властивості об'єкту змінюються під час проведення експерименту, тобто динамічно змінюються впродовж часу подачі серії з декількох імпульсів. Як зазначається у роботі [7], така серія складається з десятків або навіть декількох сотень імпульсів.

У тому разі, якщо суперпозиція картини газорозрядного світіння складалася б з зображень для одного й того ж об'єкта (мається на увазі збереження його властивостей у часі), тоді можна було б розглядати її як певне усереднення та виконувати обґрунтований статистичний аналіз.

Але результатом експерименту у багатоімпульсному режимі є суперпозиція світіння об'єктів з різними властивостями, що призводить

до некоректності статистичного аналізу геометричних та фотометричних параметрів зображень без належного врахування розглянутих вище динамічних впливів. Зрозуміло, що це дуже складне завдання, яке на сьогоднішній день не розв'язане.

Розглянуті проблеми призвели до того, що певна частина дослідників у галузі електрофотографії, надає безумовну перевагу аналоговій формі реєстрації зображень. Основним недоліком такого підходу залишається те, що у багатьох випадках аналіз зображень на фотоплівці виконується експертами, що додає суб'єктивності в результати. Такий підхід характеризується низькою точністю та фактичною відсутністю кількісних оцінок параметрів зображень.

Тому на сьогоднішній день перспективним виявляється певний проміжний варіант між двома розглянутими вище підходами. Такий «комбінований» спосіб полягає у фіксації картини газорозрядного випромінювання на фотоматеріалі з подальшою оцифровкою отриманих зображень за допомогою сканування. Схематично розглянуті способи реєстрації зображень газорозрядного випромінювання представлені на рисунку 1.

Таким чином, моноімпульсний режим збудження газорозрядного випромінювання об'єктів забезпечує формування зображення на фотоматеріалі без динамічних складових похибки, але вимагає додаткової реалізації процедури аналого-цифрового перетворення зображень.

Аналіз джерел невизначеності при реєстрації зображень газорозрядного випромінювання.

Усі сучасні методи отримання зображень газорозрядного випромінювання призначені для фіксації двовимірних картин світіння об'єктів різної фізичної природи. На сьогоднішній день не розроблено апаратне забезпечення для реєстрації динаміки розповсюдження газових розрядів (стрімерів) у часі. Таким чином, зображення статичні, тому їх параметри залежать від двох просторових координат. Динамічні зміни стану об'єкту підлягають аналізу тільки завдяки дослідженню серій з наборів окремих, послідовно зафіксованих зображень. На сьогоднішній день не відомі методи, які б дозволяли розділити на окремі фрагменти зображення з суперпозицією накладених у багатоімпульсному режимі картин світіння. Переважна більшість відомих способів параметризації цифрових зображень газорозрядного світіння засновані на аналізі їх геометричних ознак [8, 9].

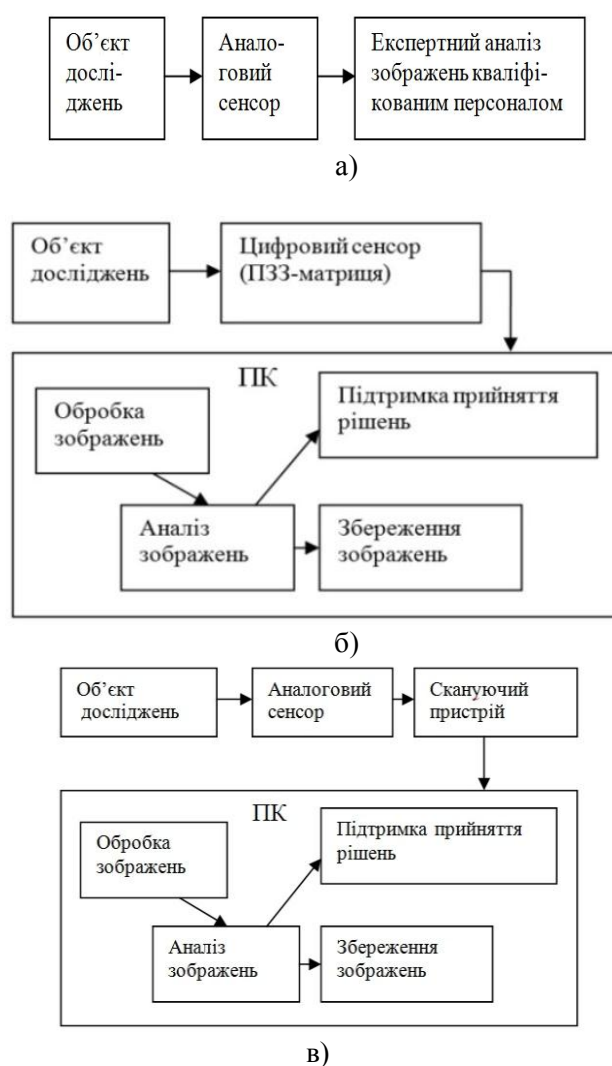


Рисунок 1 – Варіанти вводу та аналізу візуальної інформації (а – варіант аналогової реєстрації візуальної інформації; б – варіант цифрової реєстрації візуальної інформації; в – «комбінований» варіант)

Виділення джерел формування невизначеності вимірювань при параметризації зображень газорозрядного випромінювання потребує розв'язання наступних завдань:

1. Порівняльний аналіз методів реєстрації та передачі зображень випромінювання у каналах збору візуальних даних.

2. Висвітлення кола факторів, які впливають на характеристики точності первинних та вторинних вимірювальних перетворювачів.

3. Метою наглядного представлення розроблених класифікацій джерел невизначеності для аналогової, цифрової та комбінованої форм реєстрації зображень газорозрядного випромінювання побудовано схеми, представлені відповідно на рисунку 2 – 4.

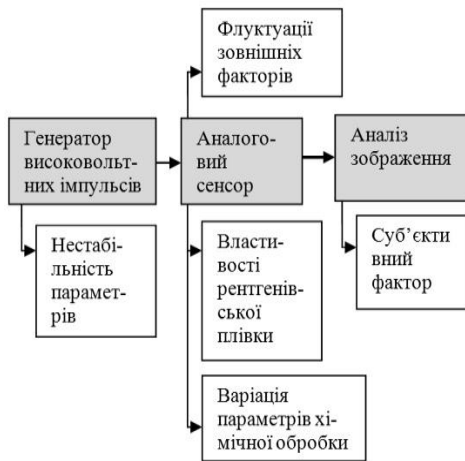


Рисунок 2 – Джерела невизначеності вимірювань при реєстрації та аналізі аналогових зображень газорозрядного випромінювання

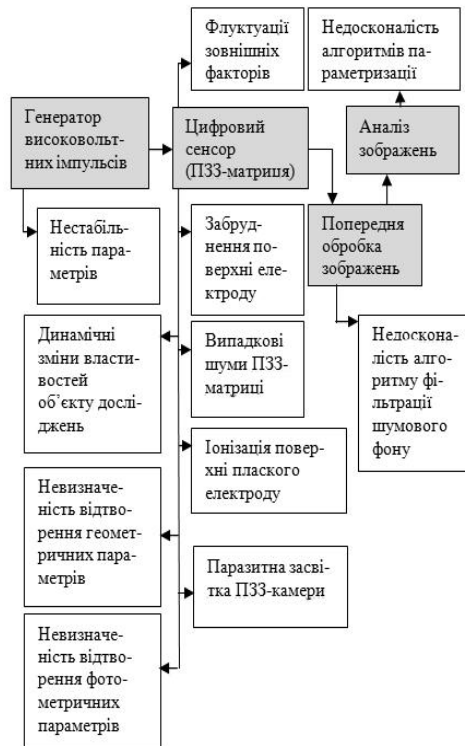


Рисунок 3 – Джерела невизначеності вимірювань при реєстрації та аналізі цифрових зображень газорозрядного випромінювання

Розробка схем для калібрування каналів збору візуальних даних в методі газорозрядного випромінювання.

Виконаний аналіз джерел невизначеності у каналах збору візуальних даних методів газорозрядного випромінювання є відправною точкою для побудови методик та схем калібрування вимірювальних каналів.

Відповідно до отриманих результатів аналізу можна запропонувати два варіанти проведен-

ня процедури експериментального дослідження метрологічних характеристик каналів збору візуальної інформації: поелементний та комплектний. Вказані підходи розрізняються рівнем деталізації дослідження джерел невизначеностей.



Рисунок 4 – Джерела невизначеності при аналоговій реєстрації та аналізі цифрових зображень газорозрядного випромінювання

В першому варіанті усі структурні елементи каналу збору та перетворення вимірювальної інформації у вигляді зображень підлягають дослідженню окремо.

Сумарна стандартна невизначеність визначається на останньому розрахунковому етапі шляхом аналітичного поєднання складових невизначеностей.

Другий варіант рекомендується до практичного впровадження у тому випадку, коли відокремлення компонентів каналу збору візуальних даних неможливе або складне. У переважній більшості другий варіант калібрування виявляється обґрунтованим для каналів збору саме візуальних даних, оскільки компоненти таких каналів, як правило, виконують спільні, нерозривно зв'язані функції, що не дозволяє виконати апаратне розділення на окремі агрегатні модулі.

Також останній варіант пропонується у тих випадках, коли окремі компоненти каналу вносять приблизно однакові вклади у сумарну не-

значеність.

Кожний сенсор візуальної вимірювальної інформації (первинний вимірювальний перетворювач) і наступні апаратні засоби вимірювань працюють у змінних умовах, залежать від стану роботи джерел живлення та працюють під впливом багатьох зовнішніх неінформативних величин. Розглянуті вище джерела, які привносять свій вклад у сумарну невизначеність вимірювань, теоретично можуть бути досліджені окремо. Але в реальних умовах експлуатації врахувати та детально описати їх фактично неможливо. В результаті необхідно прийняти до уваги той факт, що кожний компонент апаратної частини каналу збору візуальних даних поряд з чутливістю до параметрів досліджуваного об'єкту характеризується чутливістю до неінформативних впливових величин.

Для окремих компонентів каналу (наприклад, сканер або фільтр завад) метрологічні характеристики розрахувати доцільно та нескладно. Але зазвичай виявляється важко побудувати розрахункові аналітичні методи оцінки сумарної невизначеності вимірювального каналу, які б мали високі показники точності. Тому раціонально скористатися експериментальним підходом визначення метрологічних характеристик. За умови виконання багатократних вимірювань можливо встановити випадкові складові невизначеності, розрахувати стандартну невизначеність категорії А. Джерела невизначеності, які призводять до появи систематичних складових, слід виявляти на стадії проектування каналу збору візуальної інформації та, за можливості, усувати їх або враховувати у вигляді складових невизначеності категорії В. До типових прикладів такого роду джерел слід віднести невизначеності дискретизації у просторі та квантування за кольором при реалізації перетворення зображення у цифрову форму. Вони можуть бути оцінені та враховані у

подальших обчисленнях на основі технічних характеристик, заявлених виробником, або на основі проведення калібрування.

Найпростішим варіантом калібрування з метою оцінки найбільш ймовірного значення вимірюваної величини та розрахунку стандартної невизначеності категорії А є комплектне калібрування, схема якого представлена на рисунку 5.

Реалізація комплектного калібрування передбачає наявність тест-об'єкту з гарантовано стабільними у часі параметрами. Реєстрацію візуальної вимірювальної інформації необхідно виконати декілька разів з метою отримання вибірки експериментальних даних необхідного обсягу.

З метою більш детального дослідження характеристик вимірювального каналу збору візуальних даних застосовується поелементне калібрування, яке передбачає встановлення метрологічних характеристик кожного компоненту каналу окремо (рисунк 6).

Висновки

У роботі розглянуто питання синтезу калібрувальних схем для вимірювальних каналів збору візуальних даних у методі газорозрядного випромінювання. Виконаний порівняльний аналіз існуючих варіантів здійснення реєстрації зображень газорозрядного випромінювання в аналоговій, цифровій формі та комбінований підхід.

Відповідно для кожного варіанту описані джерела походження складових невизначеності вимірювань, які впливають у подальшому на якісні оцінки параметрів зображення.

Запропоновано два варіанти схем для реалізації калібрування каналів реєстрації та перетворення зображень газорозрядного випромінювання.

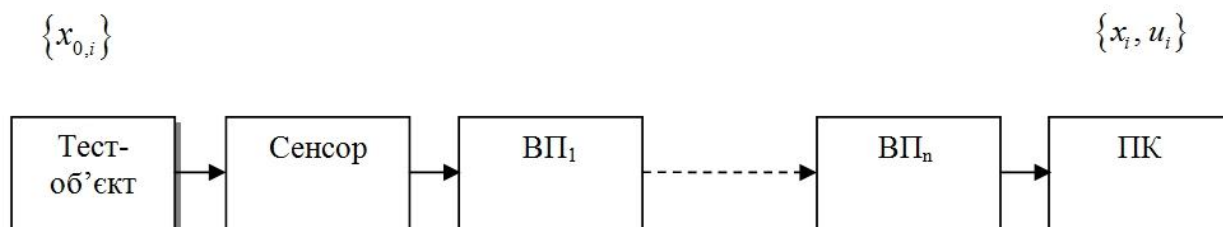


Рисунок 5 – Схема комплектного калібрування вимірювального каналу для збору візуальних даних:

ВП – вимірювальний перетворювач; $\{x_{0,i}\}$ – набір параметрів тест-об'єкту, які використовуються з метою калібрування; $\{x_i, u_i\}$ – сукупність досліджуваних параметрів тест-об'єкту на виході вимірювального каналу та відповідні стандартні невизначеності

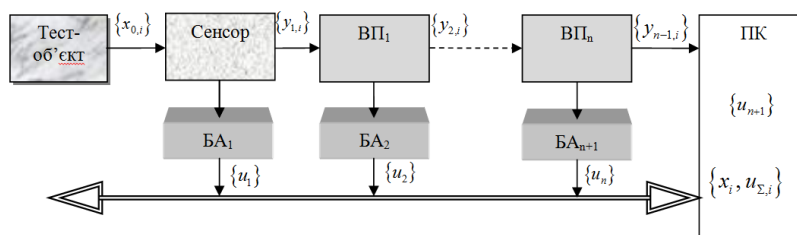


Рисунок 6 – Схема поелементного калібрування вимірювального каналу для збору візуальних даних:

ВП – вимірювальний перетворювач; БА – блок аналізу; $\{x_{0,i}\}$ – набір параметрів тест - об'єкту, які використовуються з метою калібрування; $\{u_i\}$ – стандартні невизначеності, оцінені окремо для кожного i -го компоненту вимірювального каналу; $\{u_{n+1}\}$ – невизначеність обчислювальних алгоритмів; $\{x_i, u_{\Sigma,i}\}$ – сукупність досліджуваних параметрів тест-об'єкту на виході вимірювального каналу та відповідні сумарні стандартні невизначеності

Список використаних джерел

1. Кондратов В. Т. Визуализация в метрологии: уровни, направления, цели, задачи, методы и программное обеспечение / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – № 1. – С. 7 – 21.
2. Соколов А. Ю. Методы формирования параметров пространственного движения объекта на основе обработки визуальной информации / А. Ю. Соколов, Ватик М. Хуссейн // Комп'ютерні системи та інформаційні технології. – 2009. – № 3(37). – С. 104 – 110.
3. Николаев М. И. Система технического зрения для производственного контроля и микроизмерений в видимом участке оптического спектра: дисс. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 05.11.13 / М. И. Николаев. – Казань, 2007. – 130 с.
4. Никитаев В. Г. Автоматизированные системы обработки изображений для металлографического контроля компонентов твэлов ядерных реакторов: автореф. дисс. на соискание научн. степени докт.техн.наук: спец. 01.04.01 / В. Г. Никитаев. – М., 1999. – 48 с.
5. Тодуа П. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях/ П. Тодуа // Фотоника. – 2010. – № 1. – С. 2 – 8.
6. Глухова Н. В. Методы реєстрації та вейвлет-аналізу зображень газорозрядного випромінювання / Н. В. Глухова, Л. А. Пісоцька // Системи обробки інформації. – 2015. – № 1 (126). – С. 16 – 19.
7. Бондарев В. М. Кирлиан – фотография: цифровая и традиционная. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.vadimbo.narod.ru/GDV.htm>.
8. Коротков К. Г. Основы ГРВ биоэлектрорафии. – СПб. СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 360 с.
9. Коломієць Р. О. Біотехнічна система на основі ефекту Кірліан для аналізу рідиннофазних об'єктів // Автореф. дис. к.т.н. Вінниця, 2011. – 19 с.

Надійшла до редакції 26.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф. Корсун В. І., ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

Н. В. Глухова, к.т.н.

СПОСОБЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛОВ РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В работе рассмотрены проблемы создания метрологического обеспечения при регистрации измерительной информации в виде визуальных данных. Выполнен анализ источников неопределенности при регистрации, обработке и анализе аналоговых и цифровых изображений газоразрядного излучения. Предложены способы калибровки измерительных каналов, предназначенных для регистрации, преобразования и передачи визуальных данных. Разработанные способы и схемы калибровки обеспечивают возможность экспериментальной оценки метрологических характеристик каналов сбора визуальных данных.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, измерительная информация, неопределенность измерений, калибровка, газоразрядное излучение.

Glukhova N. V., PhD

EXPERIMENTAL RESEARCH METHODS OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF REGISTRATION CHANNELS IMAGES

The problems of creating of metrological support in the registration of measurement information in the form visual data were reviewed. Analysis of the sources of uncertainty in the registration, processing and analysis of analogue and digital gas-discharge light images was performed. The calibration methods of measuring channels intended for registration, conversion and transmission of image data have been proposed. The developed methods and calibration schemes enable experimental evaluation of the metrological characteristics of the image data acquisition channels.

Keywords: metrological support, measurement information, the uncertainty of measurement, calibration, gas-discharge light.

УДК 621.317

А. Н. Василевский^{1,2}, д.т.н., О. Д. Никитенко², к.т.н.¹Министерство образования и науки Украины, г. Киев²Винницкий национальный технический университет, г. Винница

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТРОЕННОГО ПО ПРИНЦИПУ АНАЛОГО–ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Выполнено оценивание точности измерения концентрации ионов с учетом международных требований к подаче качества результатов измерений. Установлено значение суммарной неопределенности типа В, которое обусловлено ограниченными свойствами составляющих элементов средства измерения концентрации ионов.

Ключевые слова: уравнение преобразования, концентрация ионов, стандартная неопределенность, средство измерения, ионоселективный преобразователь.

Введение.

Задача оценивания точности измерений с учетом международных требований к подаче качества результатов измерений является актуальной в связи с курсом Украины на Евроинтеграцию. Для сравнения результатов измерений, полученных в Украине с результатами, которые имеют ведущие европейские лаборатории необходимо иметь соответствующую методику оценивания неопределенности конкретного вида измерений, которая позволит осуществлять такое сравнение.

Автоматизация процесса измерения концентрации ионов гумусового состояния почв была и является важной задачей сельского хозяйства. Она открывает широкие возможности повышения качества урожайности многих видов сельскохозяйственных культур, но для этого нужно иметь средства измерения, которые позволят точно определять концентрацию ионов гумусового состояния почв с соответствующим метрологическим обеспечением, которое позволит выполнять оценивание качества измерений и пода-

вать результаты измерений с учетом концепции неопределенности.

Анализ последних исследований и публикаций. Современные методы аналитической химии гумуса позволили установить основные соединения, функциональные группы и элементы, которые входят в химический состав таких частей гумуса, как гумусовые кислоты и негидролизированный остаток [1, 2].

Опыт химического анализа гумусовых веществ дает возможность определить основные признаки, которые имеют вещества, относящиеся к гумусовым [3]. Для гуминовых кислот массовая доля углерода находится в пределах 46 – 62%, для фульвокислот – 36 – 44%. Одновременно содержание азота в фульвокислотах находится в пределах 3 – 6 %. Важнейшими азотосодержащими веществами, что оказываются в почвах в свободном состоянии и могут рассматриваться как предшественники гумусовых кислот есть: белки, полипептиды, аминокислоты, нуклеиновые кислоты и хлорофилл.

Использование ферментного гидролиза показывает, что значительная часть азота, представлена аммонийными формами, среднее содержание групп NH_4 составляет в гуминовых кислотах дерново-подзолистых почв 1,38 %, черноземов – 0,75 %, сероземов – 1,34 %. Соединения азота, который гидролизруется, вмещает лишь небольшую часть азота органических веществ почвы. Основная часть запасов азота представлена наиболее крепко связанными компонентами гуминов [3]. Сопоставление запасов разных форм соединений азота по типами почв обнаруживает ту же закономерность, что и по свойствам гуминовых кислот. Чем интенсивнее накапливается гумус, тем выше в почве общие запасы азота, и тем больше накапливается труднорастворимых и слабо подвижных соединений [4].

Аминокислотный состав почвы в целом и аминокислотный состав гумусовых веществ в частности совпадают по своей структуре. Большинство аминокислот входят в состав не только гумусовых веществ, но и к другим органическим веществам, кроме глицина, который входит только в состав гумусовых веществ. Эта аминокислота связывается в почве только с соединением гумуса, то есть может быть использована в качестве главного информативного параметра.

Целью статьи является разработка методики оценивания неопределенности измерений при использовании средства измерения (СИ) построенного за принципом аналого-цифрового преобразования.

Алгоритм оценивания неопределенностей составляющих элементов СИ концентрации ионов.

Уравнение преобразования ионоселективного преобразователя имеет вид [5]

$$\Delta U = U_0 + \frac{2,3RT}{n_A F} \lg(a_A + K_c (a_B)^{n_A/n_B}), \quad (1)$$

где ΔU – разность потенциалов на выходе преобразователя; U_0 – стандартный постоянный потенциал чувствительного элемента (электрода сравнения $U_0 = 201 \pm 3$ мВ); R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура исследуемой концентрации; F – число Фарадея; n_A , n_B – заряды ионов A и B , соответственно; a_A – активность ионов A , которую нужно определить; a_B – активность ионов B , которые мешают определению ионов A ; K_c – коэффициент селективности (максимально возможное значе-

ние 10^{-1} при определении активности ионов фтора).

Поскольку при измерении концентрации ионов гумусового состояния почв необходимо определять содержание таких одновалентных веществ как фторид, нитратный азот, аммонийный азот, калий, то в уравнении (1) отношение $\frac{2,3RT}{n_A F}$ есть постоянной величиной, что отображает чувствительность ионоселективных электродов по отношению к ионам A , которая равняется $S = 59,16$ мВ при температуре калибровки 25°C .

Изменение активности ионов приводит к изменению разности потенциалов. Для дальнейшего усиления малых разностей потенциалов в СИ используется измерительный усилитель, который должен удовлетворить следующие требования:

- дифференциальный вход для уменьшения действия синфазной помехи;
- низкий уровень нулевого сигнала;
- большой коэффициент ослабления синфазной помехи.

После усиления измерительный сигнал поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП), где превращается в двоичный код N .

Таким образом, учитывая составные элементы вторичного средства измерения уравнения преобразования (1) примет вид:

$$N = \left[U_0 + S \lg(a_A + 0,1a_B) \right] \frac{K 2^m}{U_{\text{оп}}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{оп}}$ – опорное напряжение АЦП (5 В); m – разрядность АЦП ($m=16$); K – коэффициент усиления измерительного усилителя.

Из данных предыдущих исследований известно, что границы не исключённых остатков систематических погрешностей такие:

- стандартного потенциала U_0 чувствительного элемента $\theta_{U_0} = \pm 3$ мВ;
 - значения абсолютной погрешности измерения активности ионов $\theta_a = 5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{моль}}{\text{дм}^3}$;
 - максимальный температурный коэффициент сдвига измерительного усилителя составляет $0,25$ мВ/ $^\circ\text{C}$;
 - температурный коэффициент опорного напряжения АЦП составляет $k_t = 10^{-5}/^\circ\text{C}$;
 - отклонения опорного напряжения от номинального значения не превышает $\theta_{U_{\text{оп}}} = \pm 0,02$ В.
- В предположении о равномерном законе распределения [6, 7] стандартную неопределенность

потенциала чувствительного элемента, определим, как

$$u_{U0} = \frac{\theta_{U0}}{\sqrt{3}} \approx 1,73 \text{ мВ.} \quad (3)$$

Стандартную неопределенность, которая обусловлена абсолютной погрешностью измерения концентрации ионов в предположении о нормальном законе распределения погрешности внутри границ [6, 7] вычисляем по формуле

$$u_a = \frac{\theta_a}{k} \approx 2,55 \cdot 10^{-3} \frac{\text{ммоль}}{\text{дм}^3}, \quad (4)$$

где k – коэффициент охвата для нормального распределения, который равный 1,96 для вероятности 95 % [7].

Суммарную стандартную неопределенность, которая вносится ионоселективными электродами $u_{\text{ИПС}}$, вычисленную по типу B , с учетом уравнений (3) и (4), определим по формуле

$$u_{\text{ИПС}}^2 = \left(\frac{\partial \Delta U}{\partial U_0} \right)^2 u_{U0}^2 + \left(\frac{\partial \Delta U}{\partial a_A} \right)^2 u_a^2 + \left(\frac{\partial \Delta U}{\partial a_B} \right)^2 u_a^2, \quad (5)$$

где $\frac{\partial \Delta U}{\partial U_0} = 1$ – коэффициент чувствительности

стандартного потенциала; $\frac{\partial \Delta U}{\partial a_A} = \frac{S}{2,3(a_A + K_c a_B)}$ – коэффициент чув-

ствительности измеряемой активности ионов A , который на нижнем диапазоне измерений ($D_{\min} = 10^{-6}$ моль/дм³) равен 23383,4

Вдм³/моль; $\frac{\partial \Delta U}{\partial a_B} = \frac{K_c S}{2,3(a_A + K_c a_B)}$ – коэф-

фициент чувствительности активности ионов B , что мешают определению измеряемых ионов A , который на нижнем диапазоне измерений ($D_{\min} = 10^{-6}$ моль/дм³) равен 2338,34 Вдм³/моль.

Подставляя рассчитанные значения коэффициентов чувствительности в уравнение (5) суммарная стандартная неопределенность, которая вносится ионоселективными электродами составит $u_{\text{ИПС}} \approx 60$ мВ.

Поскольку измерения могут проводиться при изменении температуры окружающей среды от 5 до 40 °С, максимальное изменение температуры при этом составляет $\Delta t = 35$ °С, то учитывая температурный коэффициент сдвига усилителя 0,25 мВ/°С, напряжения смещения составит $U_{\text{см}} = 35^\circ\text{C} \cdot 0,25 \text{ мВ/}^\circ\text{C} = 8,75$ мВ. При известном коэффициенте усиления $K=10$, максимальное напряжение смещения будет равным $U_{\text{смmax}} = U_{\text{см}} \cdot K = 87,5$ мВ. Учитывая максимальное выходное напряжения усилителя $U_{\text{вых}} = \pm 5$ В, его

максимальную относительную погрешность можно рассчитать по формуле

$$\delta_K = \frac{U_{\text{смmax}}}{2U_{\text{вых}}} = 8,75 \cdot 10^{-3}. \quad (6)$$

Рассчитав максимальную относительную погрешность усилителя, стандартную неопределенность, которая вносится усилителем при измерении концентрации ионов в предположении о нормальном законе распределения, рассчитаем по формуле:

$$u_K = \frac{\Delta U_{\text{max}} \delta_K}{k} \approx 0,83 \text{ мВ,} \quad (7)$$

где ΔU_{max} – максимальная разность потенциалов, которая соответствует максимальной активности ионов нитратного азота (максимальный диапазон измерения $D_{\text{max}} = 0,5$ моль/дм³) при максимально возможной активности мешающих ионов B .

Неопределенность $u_{\text{оп}}(\Delta t)$, обусловленная изменением опорного напряжения источника при изменении температуры окружающей среды от 25 °С (температура калибровки источника опорного напряжения АЦП t_1) до 35 °С (максимально возможное изменения температуры окружающей среды Δt), вычисленная через температурный коэффициент, в предположении о равномерном распределении границ, будет равной

$$u_{\text{оп}}(\Delta t) = \frac{k_t(\Delta t - t_1)}{\sqrt{3}} U_{\text{оп}} \approx 0,43 \text{ мВ.} \quad (8)$$

Неопределенность $u_{\text{оп}}(\theta)$, обусловленная отклонения опорного напряжения от номинального значения, в предположении о равномерном распределении, будет равной

$$u_{U0} = \frac{\theta_{U0}}{\sqrt{3}} \approx 11,55 \text{ мВ.} \quad (9)$$

Таким образом, суммарная стандартная неопределенность источника опорного напряжения АЦП, которая состоит из неопределенностей рассчитанных по формулам (8) и (9), будет равной

$$u_{\text{ОПС}} = \sqrt{(u_{\text{оп}}(t))^2 + (u_{U0})^2} \approx 11,56 \text{ мВ.} \quad (10)$$

Стандартную неопределенность u_h , которая вносится процессом квантования напряжения, что поступает на вход АЦП, в предположении о равномерном законе распределения, определим так

$$u_h = \frac{h}{\sqrt{3}} = \frac{U_{\text{оп}}}{2^m \sqrt{3}} \approx 44,05 \text{ мкВ.} \quad (11)$$

Учитывая рассчитанные по формулам (5), (7), (10) и (11) стандартные неопределенности, на каждом из этапов преобразования, суммарную

стандартную неопределенность типа В вычислим по формуле

$$u_s = \sqrt{u_{\text{ипс}}^2 + u_K^2 + u_{\text{опс}}^2 + u_h^2} \approx 61,11 \text{ мВ.} \quad (12)$$

Таким образом, анализируя полученные результаты видно, что максимальная неопределенность 60 мВ вносится первичным ионоселективным преобразователем, а суммарной неопределенности типа В не превышает 61,11 мВ.

Выводы

На основании справочных данных и данных предыдущих исследований, предложено методику оценивания неопределенности, вносимой СИ концентрации ионов, которая в диапазоне измерения от 10^{-6} до $5 \cdot 10^{-1}$ моль/дм³ составляет 61,11 мВ при максимальной активности мешающих ионов.

Список использованных источников

1. Обухов А. И. Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях / А. И. Обухов, И. О. Плеханов. – М.: МГУ, 1991. – 254 с.
2. Замана С. П. Определение водорастворимого органического вещества почвы с помощью потенциометрического титрования / С. П. Замана // Химия в сельском хозяйстве. – 1993. – № 5/6. – С. 16 – 21.

О. М. Васілевський, д.т.н., О. Д. Никитенко, к.т.н.

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ІОНІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ПОБУДОВАНОГО ЗА ПРИНЦИПОМ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕТВОРЕННЯ

Виконано оцінювання точності вимірювання концентрації іонів з урахуванням міжнародних вимог щодо подання якості результатів вимірювань. Встановлено значення сумарної невизначеності типу В, що обумовлене обмеженими властивостями складових елементів засобу вимірювання концентрації іонів.

Ключові слова: рівняння перетворення, концентрація іонів, стандартна невизначеність, засіб вимірювання, іон-селективний перетворювач.

О. М. Vasilevskyi, DSc, О. D. Nykytenko, PhD

RESEARCH OF MEASUREMENT UNCERTAINTY OF ION CONCENTRATION WHEN USING THE MEASURING MEANS OF BUILT ON PRINCIPLE THE ANALOG-DIGITAL CONVERSION

Carried out evaluation of the accuracy of measuring the concentration of ions in accordance with international requirements for submission quality results. It is set to the overall uncertainty of type B, which is due to the limited properties of the constituent elements of the ion concentration measuring means.

Keywords: transformation equation, the concentration of ions, the standard uncertainty, measuring instruments, ion-selective converter.

3. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М.: Из-во МГУ, 1990. – 322 с.

4. Багаутдинов Ф. Я. Аминокислотный состав гумусовых веществ и новообразованных гуминовых кислот некоторых типов целинных и пахотных почв / Ф.Я. Багаутдинов // Агрохимия. – 1992. – № 11. – С. 89 – 97.

5. Васілевський О. М. Елементи теорії побудови потенціометричних засобів вимірювального контролю активності іонів з підвищеною вірогідністю : [монографія] / О.М. Васілевський, В.М. Дідич. – Вінниця: ВНТУ. – 2013. – 176 с.

6. Васілевський О. М. Алгоритм оцінювання невизначеності у вимірюваннях при виконанні метрологічних робіт / О.М. Васілевський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – № 3 (7). – С. 147 – 151.

7. Васілевський О.М. Основи теорії невизначеності вимірювань : [підручник] / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 229 с. – ISBN 978-966-641-632-5.

Надійшла до редакції 20.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф. Кучерук В. Ю., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

В. М. Новіков¹, д.ф.-м.н., О. А. Никитюк², д.с.-г.н., В. В. Новіков³, к.т.н.

¹Інститут підвищення кваліфікації фахівців в галузі технічного регулювання та споживчої політики Одеської державної академії технічного регулювання та якості, м. Київ

²Національний медичний університет ім. О. О. Богомольця

³Навчально-Консультаційний центр «Євроакадемія», м. Київ

АНАЛІЗУВАННЯ ВИМОГ ДО КОМПЕТЕНТНОСТІ КЛІНІКО-ДІАГНОСТИЧНИХ ЛАБОРАТОРІЙ

В статті проведено аналіз сучасних вимог до компетентності медичних (клініко-діагностичних) лабораторій, визначених стандартом ДСТУ EN ISO 15189:2014. Обґрунтовані особливості розвитку вимог до компетентності в частині управління медичної лабораторії в порівнянні з лабораторією випробувальною [3].

Ключові слова: компетентність, медичні лабораторії, системи управління якістю.

Вивчення і впровадження сучасних вимог до компетентності медичних (клініко-діагностичних) лабораторій є актуальним завданням сьогодення, особливо для України, де поки що немає жодної медичної лабораторії, акредитованої за міжнародно-визнаними вимогами стандарту [1], а процес впровадження вимог ДСТУ ISO 9001 [2] в практику роботи закладів охорони здоров'я тільки розпочався.

Метою даної роботи є аналізування вимог [1], шляхом порівняння з відомими вимогами до компетентності випробувальної лабораторії ДСТУ ISO 17025 [3].

Перша версія стандарту [3], що визначає загальні вимоги до компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій вийшла в 1999 р, стандарту ж [1], що визначає вимоги до якості та компетентності медичних лабораторій пізніше – в 2003 р. Але це зовсім не означає, що акреди-

тація медичних лабораторій не проводилась в європейських країнах та розвинутих країнах світу до 2003 р.

Аналіз рекомендацій ЕА (Європейська кооперативна організація з акредитації) показує, що до 2003 р. акредитація медичних лабораторій в Європі проводилась за вимогами діючих на той час нормативних документів, які визначали вимоги до компетентності випробувальних і калібрувальних лабораторій з врахуванням спеціальних рекомендацій EAL-G25, стосовно особливих (додаткових, специфічних) вимог до компетентності медичних лабораторій.

В 2003 р. положення EAL-G25 увійшли в стандарт ISO 15189. Динаміка розвитку нормативної бази, що визначає вимоги до компетентності лабораторій взагалі представлена рис. 1. Для зручності аналізу рис. 1 позначені також і версії стандартів ISO серії 9000.

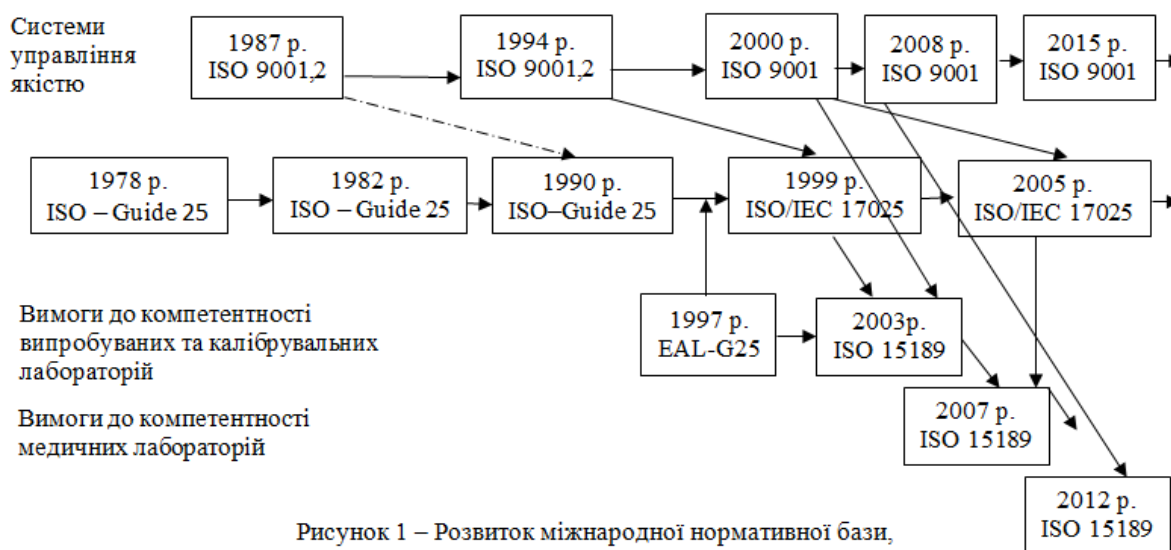


Рисунок 1 – Розвиток міжнародної нормативної бази, що визначає вимоги до компетентності лабораторій та вимоги до систем управління якістю

Кожен фахівець лабораторії знає, що її компетентність в основному визначається трьома факторами: наявністю відповідного обладнання та приміщень, відповідними методиками та компетентним персоналом, який може проводити роботи на цьому обладнанні по валідованим методикам. В 1999 р. (див. рис. 1) до цих трьох загальних вимог до компетентності додалась четверта вимога щодо наявності в лабораторії системи забезпечення якості (до 1999 р. положення ISO 9001 входили тільки частково до вимог стосовно компетентності).

Далі (2005 р.) п'ята вимога – вдосконалення (положення ISO 9001:2000 входять у вимоги до компетентності лабораторій ISO/IEC 17025:2005 та ISO 15189:2007 (див. рис. 1)).

Аналізуючи тексти нормативних документів, зазначених рис. 1, можна дійти до загального висновку про те, що вимоги до компетентності будь-яких лабораторій (як випробувальних, так і медичних) інтенсивно розвивалися в основному в напрямку вдосконалення вимог до управління. Технічні вимоги до діяльності компетентної лабораторії залишилися практично незмінними. Виключення можуть складати лише технічні вимоги стосовно контролю якості результатів випробувань. Див, наприклад, для порівняння розділи 5.9 в ISO/IEC 15189:2012.

Очевидно, що однією із основних задач міжнародної організації зі стандартизації (ISO) є задоволення потреб користувачів у сучасній нормативній документації. Як бачимо, (рис. 1) на сьогодні вимоги до компетентності стандарту ISO/IEC 17025 виданого в 2005 р. (друга версія стандарту ISO/IEC 17025) цілком актуальні, в той час, як текст стандарту, що визначає вимоги до компетентності медичних лабораторій з 2003 р. оновлювався вже двічі, і на сьогодні ми маємо вже третю версію стандарту ISO 15189, що свідчить про динамічне зростання потреб суспільства в необхідності об'єктивної оцінки компетентності медичних лабораторій.

Стандарт [1] за аналогією з [3] побудований по «функціональному» принципу, тобто на відміну від [2], де реалізований процесний підхід, описує вимоги щодо конкретних функцій діяльності лабораторій (елементів системи управління), наприклад, персоналу, обладнання, управління даними, тощо. Хоча в [1] і приведені взаємозв'язки розділів [1] з відповідними розділами [2] і [3], вони, на жаль, надають лише дуже загальне уявлення про зв'язки вимог [1], [3] та [2], не вважаючи на наявні суттєві особливості.

Фундаментальні поняття «зразок» і «проба» в [1] та [3] різні.

Для фахівців випробувальної лабораторії під «пробою» розуміють частину матеріалу, взятого від об'єкту на дослідження (наприклад, проба води), а під «зразком» – один із сукупності об'єктів випробування (наприклад, зразок пральної машини). Для медичної лабораторії під зразком розуміють частку речовини, взятої на дослідження від тіла людини. Під пробами ж зазвичай розуміють частини зразка.

Аналізуючи вимоги до системи управління (р. 4 Стандарту), слід зазначити, що в [1], на відміну від [3], є вимоги не тільки до вищого керівництва (тут вимоги стандартів [1] та [3] аналогічні за виключенням особливого спектру аналізу керівництвом медичних лабораторій за [1]), але й вимоги до завідуючого лабораторією.

Задokumentовані обов'язки завідуючого медичною лабораторією мають охоплювати організаційні, адміністративні, професійні, наукові, консультативні, навчальні або дорадчі.

Отже, вимоги [1] стосовно керівництва лабораторією (в порівнянні із [3]) слід вважати більш жорсткими як в частині професіоналізму, так і в частині контролю життєвого циклу надання клініко-діагностичної послуги (від етики роботи з клієнтом, до надання послуг, вибору підрядних лабораторій, контролю якості та тлумачення результатів).

Особливими вимогами [1] слід вважати вимоги до змісту настанов з якості (р. 4.2.2.2. [1]).

Не тільки в ISO/IEC 17025 [3], але і в будь-якому іншому стандарті ISO/IEC серії 17000, що визначав би вимоги до компетентності органу з оцінки відповідності таких вимог нема.

Вважаючи на специфічну направленість результатів досліджень, отриманих в медичній лабораторії для формування діагнозу, оцінювання стану здоров'я, лікування тощо, особливими слід вважати вимоги до надання та / або отримання зовні консультативних послуг лабораторією.

Сама модель системи управління, запропонована в [1] більш сучасна (в порівнянні з [3]) і включає такі елементи, як оцінка ризиків при плануванні подальших вдосконалень, управління ризиками на всіх етапах вздовж реалізації життєвого циклу проведення клініко-діагностичного дослідження (р. 4.14.6) та необхідність використання чітко визначених індикаторів (показників) якості.

Якщо для випробувальної лабораторії регламентація порядку проведення випробувань визначена в методиці (стандарт [3] описує вимоги до забезпечення виконання методик в загальному вигляді), то [1] містить вимоги до управління процесами перед дослідженням, процесами дослідження, забезпечення якості резуль-

татів (в т.ч., наприклад, вимоги до міжлабораторних порівнянь, яких в [3] нема, вони конкретизуються технічним комітетом кожного конкретного органу акредитації), процесами після дослідження, звітування та надання результатів замовнику.

Висновки

1. Проведений аналіз вимог стандарту [1] в порівнянні з [3], результати якого мають полегшити підготовку до акредитації медичних лабораторій, спираючись на наявний великий методичний досвід реалізації положень [3] в практику випробувальних лабораторій.

2. Модель системи управління в [1], також, як і в [3] заснована на принципах управління якістю стандарту ISO 9001, але на відміну від [3], вона містить додаткові вимоги щодо управління життєвим циклом проведення досліджень з метою надання більших гарантій достовірності результатів досліджень медичних лабораторій.

Список використаних джерел

1. ДСТУ EN ISO 15189:2015. Медичні лабораторії. Вимоги до якості та компетентності. Затверджений наказом ДП «УкрНДНЦ» № 61 від 22.06.2015р.

2. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги.

3. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. – [Чинний від 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 27 с. – (Національний стандарт України).

Надійшла до редакції 23.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф. Коломієць Л.В., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса.

В. Н. Новиков, д.ф.-м.н., А. А. Никитюк, д.с.-г.н., В. В. Новиков, к.т.н.

АНАЛИЗИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К КОМПЕТЕНТНОСТИ КЛИНИКО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ

В статье произведен анализ современных требований к компетентности медицинских (клинико-диагностических) лабораторий, определенных стандартом ДСТУ EN ISO 15189:2014. Обоснованы особенности развития требований к компетентности в части управления медицинской лабораторией по сравнению с лабораторией испытательной.

Ключевые слова: компетентность, медицинские лаборатории, системы управления качеством.

V. M. Novikov, DSc, O.A. Nykytyuk, DSc, V. V. Novikov, PhD

AN ANALYSIS OF REQUIREMENTS IS TO COMPETENCE OF CLINICODIAGNOSTIC LABORATORIES

In the article the analysis of modern requirements is conducted to the competence of medical (clinicodiagnostic) laboratories, certain the standard of DSTU EN ISO 15189:2014. Grounded features of development of requirements to the competence in part of management of medical laboratory as compared to a laboratory proof-of-concept.

Keywords: competence, medical laboratories, control system by quality.

УДК 621.372.8:621.396

О. С. Корчевський, Л. В. Коломієць, д.т.н.

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ

У статті розглянута організація метрологічної діяльності підприємства по випуску кабелів; проведено аналіз основних параметрів, від яких залежить якість волоконно-оптичного кабелю; визначені основні механічні характеристики кабелю, які підлягають контролю.

Ключові слова: волоконно-оптичний кабель, оптичне волокно, засоби вимірювальної техніки, випробувальне обладнання, метрологічна служба підприємства.

Вступ

Аналіз процесу виробництва волоконно-оптичного кабелю (ВОК) з точки зору повноти його метрологічного забезпечення (МЗ), показав, що в Україні на нормативному рівні не затверджена процедура МЗ, у зв'язку з чим виробник сам вибирає параметри для контролю.

Постановка проблеми

Організацію метрологічної діяльності підприємства по виготовленню кабелю можна представити у вигляді блок-схеми (рис.1). На ній основні процеси, це:

- 1 – Розробка плану;
- 2 – Затвердження плану;
- 3 – Коригування переліку засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) підприємства;
- 4 – Затвердження переліку ЗВТ;
- 5 – Складання переліку ЗВТ, що підлягають повірці;
- 6 – Складання переліку ЗВТ, що підлягають калібруванню в державних органах;
- 7 – Складання переліку ЗВТ, що підлягають калібруванню МСП;
- 8 – Складання переліку ЗВТ, переведених в навчальні та індикатори;
- 9 – Складання переліку випробувального обладнання (ВО), що атестується на підприємстві;
- 10 – Затвердження переліку ЗВТ, що підлягають повірці;
- 11 – Затвердження переліку ЗВТ, що підлягають калібруванню в сторонніх організаціях;
- 12 – Затвердження переліку ЗВТ, що підлягають калібруванню метрологічною службою підприємства;
- 13 – Затвердження переліку ЗВТ, переведених в навчальні та індикатори;
- 14 – Затвердження переліку ВО, що атестується на підприємстві;
- 15 – Узгодження переліку ЗВТ, що підлягають повірці;
- 16 – Узгодження переліку ЗВТ, що підлягають калібруванню в сторонніх організаціях;
- 17 – Підготовка персоналу.

До примикаючих процесів відносяться:

Блок-схема А1 – алгоритм виконання процесу придбання, розподілу та обліку ЗВТ;

Блок-схема А2 – алгоритм виконання процесу метрологічного нагляду;

Блок-схема А3 – алгоритм виконання процесу аналізу стану вимірювань;

Блок-схема № В1 – алгоритм проведення метрологічної атестації ЗВТ;

Блок-схема № В2 – алгоритм проведення повірки і калібрування ЗВТ сторонніми організаціями;

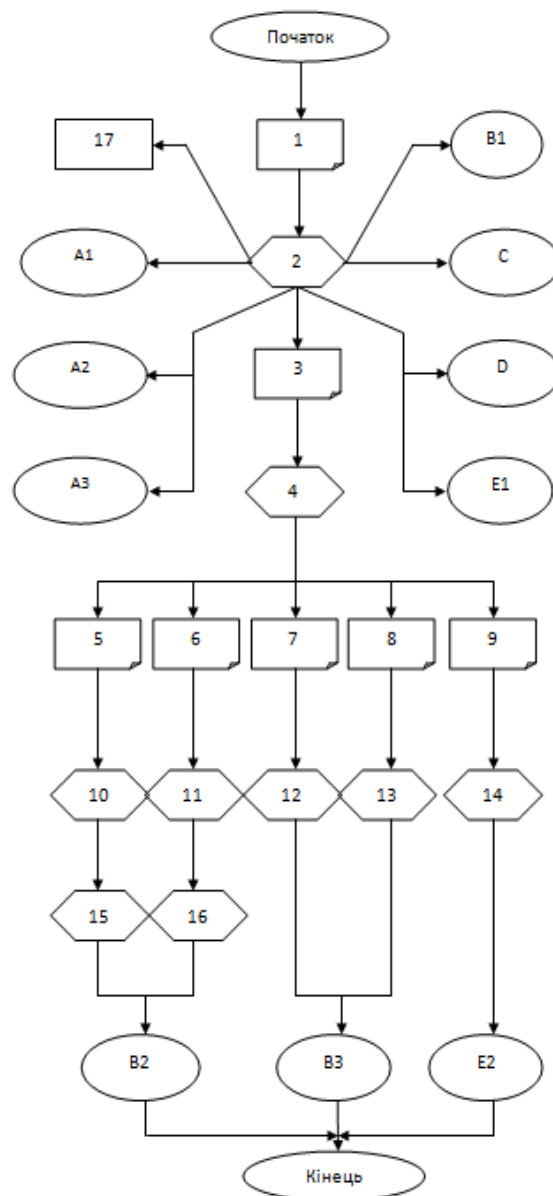


Рисунок 1 – Алгоритм виконання процесу метрологічної діяльності

Блок-схема № В3 – алгоритм проведення калібрування ЗВТ на підприємстві;

Блок-схема № С – алгоритм виконання процесу метрологічної експертизи нормативної документації;

Блок-схема № D – алгоритм проведення атестації методик виконання вимірювань;

Блок-схема № Е1 – алгоритм проведення первинної атестації випробувального обладнання;

Блок-схема № Е2 – алгоритм проведення періодичної атестації ВО.

Засоби вимірювальної техніки та випробувальне обладнання, які застосовуються в процесі виробництва ВОК на підприємстві, призначені для визначення механічних, оптичних, передавальних, конструктивних, електричних, кліматич-

них та спеціальних (пожежної безпеки, цілісності кабелю та надійності) параметрів кабелю [1].

Як відомо, механічні параметри входять до числа важливіших характеристик, які визначають можливість ефективного будівництва та експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку, включаючи їх прокладку, монтаж, ремонт і технічне обслуговування. Ці характеристики домінують в проблемі забезпечення багатолітньої експлуатаційної надійності ВОК та, відповідно, ліній зв'язку.

Частина механічних характеристик, які контролюються в процесі виготовлення ВОК, авторами була розглянута в роботах [2, 3], а іншу частину проаналізуємо нижче.

Мета статті: Визначення основних механічних характеристик волоконно-оптичного кабелю, які підлягають контролю в процесі його виготовлення.

Виклад основного матеріалу

Волоконно-оптичні кабелі мають дуже високу міцність, адже міцність бездефектного кварцового волокна значно більше міцності сталеної проволоки того ж перетину.

Однак, на практиці з'являються обриви в лініях зв'язку навіть при незначних навантаженнях. Наявність мікротріщин та дефектів скла в десятки разів зменшують міцність ВОК, оскільки натяг волокна, вологість та висока температура призводять до швидкого росту мікротріщин, завжди присутніх у оптичному волокні (ОВ), і математичне очікування часу обриву ОВ, з десяти тисяч років в нормальних умовах зменшується до року.

Одним із важливих факторів оцінки експлуатаційної надійності ВОК є вихідна інертна міцність. Цей фактор визначається розміром найбільшого дефекту по всій довжині волокна.

Випробування ВОК на стійкість до перемотування проводяться відповідно до МЕК 60794-1-2, метод E11 [4].

Заводська лінія перемотування кабелю представлена на рис. 2.

Зразок намотується спіралью на барабан з постійною швидкістю (один оборот за 5 секунд). Зразок повинен перебувати під постійним натягом, який забезпечує рівномірне намотування кабелю по спіралі. Цикл складається з намотування і змотування зразка ВОК (діаметр оправи, число витків і циклів зазначаються в технічній документації).

Зразок ВОК у вигляді петлі повинен утримуватися за кінці двома руками. Діаметр петлі повинен зменшуватися до мінімального значення, зазначеного в технічній документації на ВОК, під час вільного натягу за обидва кінці.



Рисунок 2 – Лінія перемотування кабелю

До і після випробувань кабелю на стійкість до перемотування в ОВ вимірюється загасання. Після випробування захисний шланг оглядають на наявність дефектів.

Одним із важливих параметрів є показник стійкості до пошкодження при утворенні петлі.

Випробування ВОК на стійкість до пошкодження при утворенні петлі проводяться відповідно до МЕК 60794-1-2, метод E10 [4].

Схема для проведення цих випробувань наведена на рис. 3 [4].

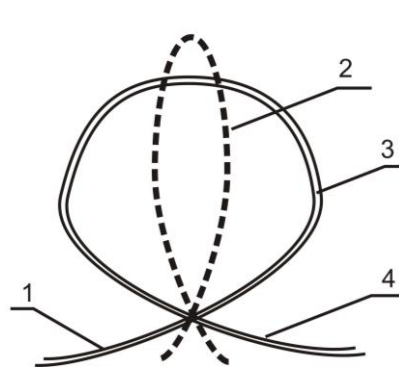


Рисунок 3 – Схема випробування ВОК на стійкість до пошкодження при утворенні петлі: 1, 4 – кінці відрізка ВОК; 2, 3 – види форм петлі

До і після випробувань ВОК на стійкість до пошкодження при утворенні петлі в ОВ вимірюється загасання. Після випробування захисний шланг оглядається на наявність дефектів.

Довжина зразка повинна бути в 10 разів більше мінімального радіусу вигину ВОК. Діаметр петлі повинен становити $20D$.

Випробування ВОК на стійкість до вигину під навантаженням проводяться відповідно до МЕК 60794-1-2, метод E18 [4].

Схеми для випробування наведені на рисунках 4, 5 [4].

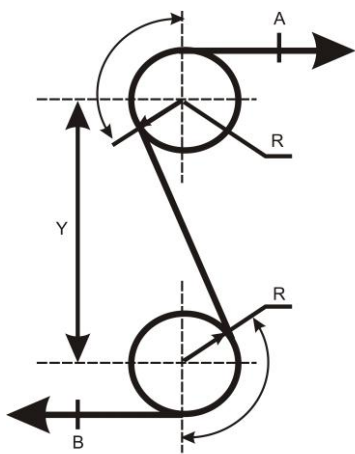


Рисунок 4 – Схема випробування на стійкість до вигину під натягом (S – вигин)

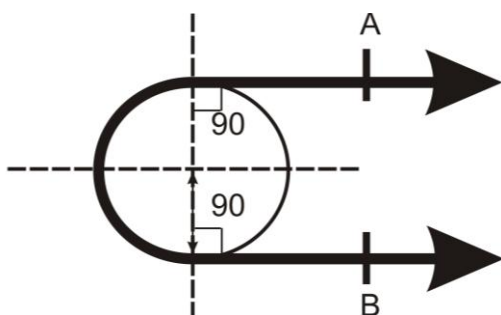


Рисунок 5 – Схема випробування на стійкість до вигину під навантаженням (U – вигин)

Довжина зразка вибирається достатньою для досягнення необхідної точності вимірювання. Обидва кінці ВОК повинні бути підготовлені до випробування.

Зразок кабелю повинен бути встановлений таким чином, щоб до нього можна було прикласти навантаження. На зразку ВОК повинні бути відзначені точки A і B.

Кабель повинен рухатися навколо оправлення (U – вигин, рис. 5) або двох оправок (S – вигин, рис. 4). Навантаження на кабель має поступово зростати до необхідного значення.

Кабель повинен переміщуватися від точки A до точки B і потім повертатися в точку A.

Довжина зразка, довжина зразка під натягом (відстань між точками A і B), радіуси оправок R, відстань між оправками Y і кут вигину φ (див. рис. 4) швидкість руху і число циклів вказуються в технічній документації на ВОК.

До і після випробування кабелю на стійкість до вигину під навантаженням в ОВ вимірюється загасання, а захисний шланг оглядається на наявність дефектів.

Випробування ВОК на стійкість до осьового кручення проводяться відповідно до МЕК 60794-1-2, метод E7 [4].

Для проведення випробувань розроблена установка, яка показана на рис. 6. Вона забезпечена пристроями для затиску кабелю (одне нерухоме, друге – обертове) і при цьому є можливість зміни відстані між ними.



Рисунок 6 – Установка для випробування на стійкість до осьового кручення

Пристрої для затиску зразка кабелю виконанні такими, щоб:

- існувала можливість щільного обтиску кабелю і запобігання руху кабелю усередині затиску;
- існувала можливість утримувати кабелю так, щоб не було провисання;
- процес затиску кабелю не викликав збільшення загасання в кабелі.

Зразок ВОК приєднується до затискача таким чином, щоб волокно, оболонка, шланг і любі деформаційні елементи були надійно скріплені разом.

Після того, як зразок кабелю встановлюється в пристрій з подальшою фіксацією в нерухомому затискачі, який попереджає переміщення ВОК під час випробування, рухливий затискач:

- а) повертається на 180° за годинниковою стрілкою;
- б) повертається в початкове положення;
- в) повертається на 180° проти годинникової стрілки;
- г) повертається в початкове положення.

Така послідовність становить один цикл.

Довжина зразка, кут повороту, величина натягу і кількість циклів вказуються в технічній документації.

До і після випробувань кабелю на стійкість до осьових кручень в ОВ вимірюється загасання. Після випробування захисний шланг оглядається на наявність дефектів.

Слід зазначити, що:

- при ВОК для зовнішньої прокладки кут повороту складає $\pm 360^\circ$, довжина зразка 1 м, циклів 10;

- при ВОК для річкових переходів кут повороту складає $\pm 360^\circ$, довжина зразка 4 м, число циклів 10;

- при внутрішньо об'єктових ВОК, кут повороту складає $\pm 180^\circ$, довжина зразка 250 мм, циклів 20.

При необхідності проводять випробування ВОК на старіння – стійкість до навантажень розтягу – після одного або декількох видів прискореного теплового старіння, встановленого в нормативній документації на кабельний виріб.

У всіх видах випробувань, зразок вважається тим, що витримав ці випробування, якщо в ньому немає ушкодження захисного шланга, обривів ОВ і прирощення загасання оптичного сигналу в ОВ після випробування не перевищує 0,01 дБ для одномодового ОВ і 0,05 дБ для багатомодового ОВ.

Методи випробувань на старіння в термостаті, повітряної і кисневої бомбах наведені в розділі 8 ДСТУ ІЕС 60811-1-2 [5].

Висновки

В роботі наведений алгоритм виконання процесу метрологічної діяльності підприємства по виготовленню кабелю, в якому визначені основні та примикаючі процеси.

Досліджені основні механічні характеристики ВОК і методи їх контролю, що дає можливість контролювати якість кабелю в умовах виробництва.

Знання цих характеристик дозволить також підвищити ефективність будівництва і експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку, що включає їх прокладку, монтаж, ремонт і технічне обслуговування.

Список використаних джерел

1. Иоргачев Д. В. Волоконно-оптические кабели / Д. В. Иоргачев, О. В. Бондаренко, А. Ф. Дашенко, А. В. Усов. - О.: Астропринт, 2000. – 536 с.

2. Корчевський О. С. Метрологічне забезпечення виробництва оптичного кабелю / О. С. Корчевський, Л. В. Коломієць // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – Одеса, 2014. – Вип. 2(5). – С. 62 – 67.

3. Корчевський О. С. Визначення метрологічних показників оптичного волокна / О. С. Корчевський, Л. В. Коломієць, О. І. Ваганов // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. - Одеса, 2015. - Вип. 1(6). – С. 58 – 63.

4. ДСТУ ІЕС 60794-1-2-2002. Кабелі оптичні. Частина 1 – 2. Загальні технічні умови. Основні методи випробування оптичних кабелів (ІЕС 60794-1-2:1999, IDT).

5. ДСТУ ІЕС 60811-1-2:2004. Матеріали ізоляції та оболонки електричних і оптичних кабелів. Загальні методи випробування. Частина 1 – 2. Загальне застосування. Методи теплового старіння (ІЕС 60811-1-2:1985, IDT).

Надійшла до редакції 26.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф. Квасніков В. П., Національний авіаційний університет, м. Київ.

А.С. Корчевский, Л. В. Коломиец, д.т.н.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

В статье рассмотрена организация метрологической деятельности предприятия по выпуску кабеля; проведен анализ основных параметров, от которых зависит качество волоконно-оптических кабелей; определены основные механические характеристики, которые должны контролироваться в процессе изготовления кабеля.

Ключевые слова: волоконно-оптический кабель, оптическое волокно, средства измерительной техники, испытательное оборудование, метрологическая служба предприятия.

A. S. Korchevsky, L. V. Kolomiets, DSc

MECHANICAL FIBER OPTIC CABLE

The article describes the organization of metrology cable plant; an analysis of the basic parameters that determine the quality of the fiber-optic cables; The main mechanical characteristics that must be controlled during manufacture of the cable.

Keywords: fiber-optic cable, optical fiber, measuring equipment, test equipment, metrology service comp.

А. І. Розмариця, Л. В. Коломієць, д.т.н., К. Ф. Боряк, д.т.н., Л. В. Кузнєцова, О. І. Стариш

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

МОДИФІКОВАНА МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНИХ ТОМОГРАФІВ

У статті представлена модифікована до вітчизняних умов методика контролю експлуатаційних параметрів магнітно-резонансних томографів.

Ключові слова: магнітно-резонансний томограф, контроль, експлуатація, якість.

Вступ

У вітчизняних медичних закладах знайшли достатньо широке застосування магнітно-резонансні томографи (МРТ).

Це обумовлено тим, що ці сучасні медичні апарати забезпечують високий просторовий та контрастний дозвіл в зареєстрованих зображеннях м'яких тканин без введення спеціальних розчинів (потенційно токсичних контрастних речовин) в організм. Крім того, МРТ мають можливість візуалізації важкодоступних областей і отримання специфічних характеристик тканин залежно від застосованих імпульсних послідовностей [1].

МРТ (рис.1) – досить складна, з точки зору конструкції, медична техніка, яка в експлуатації може представляти електромагнітну та електричну небезпеку як для пацієнта, так і для персоналу, який її обслуговує.



Рисунок 1 – Магнітно-резонансний томограф

Для забезпечення безпеки пацієнтів і медичного персоналу, а також запобігання реєстрації неправильної діагностичної інформації повинен бути забезпечений належний контроль параметрів і характеристик МРТ не тільки під час інсталяційних технічних випробувань, але й у процесі експлуатації. Тому, крім контролю електричних та магнітних характеристик МРТ, дослідженню повинні підлягати параметри, які визначають

якість формування зображення, оскільки саме від цього показника в значній мірі залежить правильність постановки діагнозу та ступінь успішності лікування пацієнта.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день в Україні відсутній державний стандарт, який встановлював би вимоги до контролю безпеки при роботі з МРТ. В той же час, діючий у Європейському союзі міжнародний стандарт ІЕС 60601-2-33 (2006) [2], яким регламентується процедура випробувань на електробезпечність, захист від механічних впливів і контроль параметрів електромагнітного поля, в нашій країні ще не гармонізований.

У міжнародному стандарті [2] наведені гранично припустимі значення характеристик МРТ, перевищення яких здатне привести до небажаних біофізичних ефектів, а також вимоги до електричних характеристик та параметрів електромагнітного поля. Однак, у ньому відсутня інформація стосовно наявності методів контролю характеристик, які визначають якість формування зображення при використанні МРТ.

Таким чином, дотепер в Україні не існує єдиного нормативного документу, який містив би повний перелік контрольованих параметрів і характеристик МРТ в момент інсталяції та в процесі експлуатації, і, як наслідок, відсутній єдиний підхід до організації та проведення експлуатаційного контролю кабінетів МРТ.

Слід також відзначити особливості самої організації процедури перевірки МРТ в умовах експлуатації, де у більшості випадків проведення технічних випробувань МРТ і оцінка отриманих даних здійснюються безпосередньо на робочому місці медперсоналу, внаслідок чого вимушено порушується графік прийому пацієнтів.

Крім того, контроль окремих параметрів та характеристик МРТ проводять сервісні центри по обслуговуванню томографів, які не в повній мірі забезпечені необхідним набором інструмен-

тів і є малопридатними при такому виді перевірок, як випробування на сталість параметрів.

Мета статті

Створення модифікованої до вітчизняних умов методики проведення експлуатаційних випробувань МРТ.

Виклад основного матеріалу

Аналіз діючих стандартів та літературних джерел показав, що міжнародними організаціями розроблені документи, на основі яких проводять експлуатаційний контроль апаратів МРТ. До них, зокрема, можна віднести стандарти Національної асоціації виробників електротехнічної продукції, що встановлюють вимоги до методів контролю якості формування зображення [3] – [6]; стандарт моніторингу продуктивності МРТ, їх акредитації і контролю якості Американського радіологічного коледжу [7]; методику Асоціації фізиків в області медицини, в якій представлені етапи проведення контролю якості зображень МРТ [8]; методику, розроблену російськими вченими московського НВЦ медичної радіології, в якій представлений процес експлуатаційних випробувань кабінетів МРТ [9].

Остання із методик [9] є найбільш близькою для вирішення нашої проблеми, у зв'язку з чим модифікуємо її до вітчизняних умов на підставі діючих стандартів і норм та застосування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), відомості про які внесені до Державного реєстру України, а також за рахунок удосконалення алгоритму вимірювань та програмного забезпечення.

Алгоритм процесу вимірювань представимо у вигляді наступних етапів (рисунки зображень відтворені з методики [9]):

І Визначення параметрів і характеристик, які підлягають контролю:

1.1 Індукція статичного магнітного поля.

Перевірка величини індукції статичного магнітного поля робочої зони апарату МРТ за допомогою мілітесламетра.

1.2 Область контрольованого доступу

Перевірка границь області контрольованого доступу (визначення просторових координат точки – відстань від ізоцентра МРТ до точки в просторі, відповідної рівню індукції магнітного поля в 0,5 мТл) за допомогою мілітесламетра і рулетки. Побудова прикордонних кривих.

1.3 Рівень індукції постійного магнітного поля на робочих місцях

Перевірка рівня індукції поля шляхом вимірювання магнітної індукції на робочих місцях та зоні перебування персоналу (порівняння із гранично припустимими рівнями постійного магнітного поля із урахуванням часу впливу поля за зміну на працівника в цілому на тіло, або на окремі

його частини) за допомогою вимірювача рівня електромагнітного поля.

1.4 Рівень випромінювання персональних комп'ютерів.

Перевірка рівня випромінювання комп'ютерів шляхом вимірювання напруженості електричного та електростатичного полів, щільності магнітного потоку на робочому місці (проведення порівняння із припустимими рівнями електромагнітного поля) за допомогою вимірювача напруженості електростатичного поля та вимірювача рівня електромагнітного поля.

1.5 Рівень акустичного шуму.

Перевірка рівня акустичного шуму шляхом вимірювання рівня звуку по шкалі А та рівнів звукового тиску по спектру в октавних смугах частот на постійних робочих місцях і у робочій зоні в точках перебування персоналу за допомогою шумоміра – аналізатора спектру.

1.6 Відношення сигнал / шум.

Оцінка відношення сигнал / шум проводиться за допомогою фантома циліндричної (сферичної) форми, який наповнено МР-контрастною рідиною (на зображенні виділяють область інтересу, не < 75% зображення фантома, для оцінки рівня сигналу, і чотири області, поза зображенням фантома, для оцінки рівня шуму, рис. 2).

Рівень сигналу (S) визначається як середнє значення яскравості усіх пікселів, ув'язнених у центральній області інтересу.

Рівень шуму ($\sigma_{ш}$) визначається як середньоквадратичне відхилення яскравості усіх пікселів у чотирьох квадратних областях від середнього значення в тих же областях.

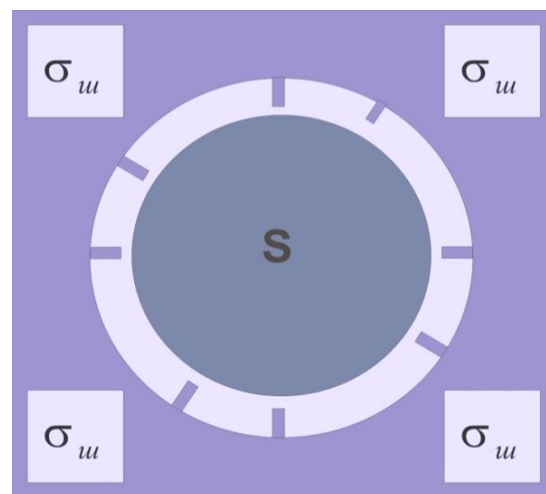


Рисунок 2 – Зареєстроване зображення фантома для оцінки величини відношення сигнал / шум

Відношення сигнал / шум розраховується як:

$$SNR = \frac{S}{\sigma_{ш}} \cdot k,$$

де k – поправочний коефіцієнт, що враховує зміну закону розподілу шумової складової, та значення якого приведені в роботі [10].

1.7 Нерівномірність розподілу яскравості в полі зображення

Вимірювання величини нерівномірності розподілу яскравості в полі зображення здійснюють за допомогою фантома, який застосовують для оцінки відносини сигнал / шум.

На зареєстрованому зображенні (рис. 3) у межах області фантома в центрі (елемент 1) і в чотирьох зонах поза центром (елементи 2 – 5) в автоматизованому режимі виділяють області інтересу.

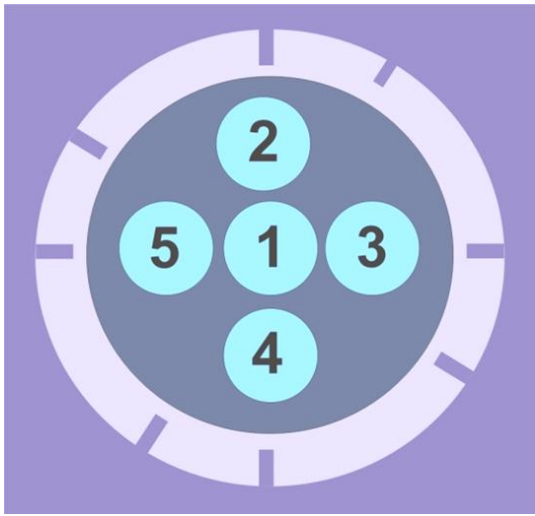


Рисунок 3 – Зареєстроване зображення фантома для оцінки величини неоднорідності розподілу яскравості з позначеними на ньому областями інтересу

В подальшому обчислюють середні значення яскравості пікселів усередині кожної з виділених областей інтересу. Серед отриманих величин визначають мінімальне S_{min} і максимальне S_{max} значення і обчислюють величину нерівномірності розподілу яскравості в полі зображення (N_n) у відповідності з наступною формулою:

$$N_n = \left| \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}} \right| \cdot 100\%.$$

1.8 Просторова роздільна здатність

Контроль просторової роздільної здатності проводять за допомогою тест-об'єкта, який містить міри з отворами різного діаметра, або структурою, що сформована із прямокутних паралелепипедів і зазорів між ними.

Уздовж кожного з рядів міри будується профіль границь, рис. 4).

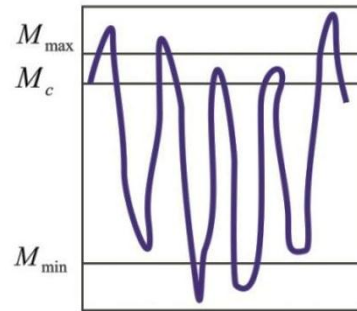


Рисунок 4 – Профіль границь періодичної структури (міри)

Далі визначається коефіцієнт просторової роздільної здатності (K)

$$K = \frac{M_{max} - M_{min}}{M_c} \cdot 100\%$$

де M_{max} – середнє значення максимумів яскравості пікселів профілю границь періодичної структури;

M_{min} – середнє значення мінімумів яскравості пікселів профілю границь періодичної структури;

M_c – середнє значення яскравості пікселів сигналу усередині фантома за межами вставки з мірами.

1.9 Просторова нелінійність

Оцінку просторової нелінійності проводять за допомогою тест-об'єкта, який складається з малих, розташованих на рівній відстані одна від одної структур, що не випускають МР-сигнал тієї частоти, на яку настроєні прийомні радіочастотні (РЧ) котушки (решта простору тест-об'єкта заповнена МР-контрастною рідиною).

Слід зазначити, що можлива і зворотна ситуація, коли дискретні елементи являють собою отвори в пластині, що не випускає МР-сигнал частоти, на яку настроєні приймальні РЧ котушки. У цьому випадку на зареєстрованому зображенні вони будуть представлені у вигляді світлих точок на темному тлі. На зображенні в автоматизованому режимі виділяються відрізки, які з'єднують центри найближчих елементів L_i ; вимірюють довжини відрізків і розраховують величину просторової нелінійності по формулі:

$$R = \max \left\{ \frac{|L_i - L_d|}{L_i} \right\} \cdot 100\%,$$

де L_d – задана в документації на тест-об'єкт відстань між центрами найближчих елементів.

1.10 Товщина виділеного зрізу

Товщину виділеного зрізу оцінюють за допомогою тест-об'єкта, що містить два протилежно спрямовані клини (похилі пластини), матеріал яких випускає МР-сигнал частоти, на яку настроєні приймальні РЧ котушки (решта простору тест-об'єкта заповнена контрастною рідиною).

Поверхні обох клинів (пластин) розташовані під кутом α до площини зрізу. Величина кута α повинна задовольняти співвідношенню:

$$\operatorname{tg}(\alpha) \ll \frac{h}{\Delta}, \quad (1)$$

де h – товщина виділеного зрізу;

Δ – розмір пікселя зображення.

На отриманому зображенні задають напрям осі Y як границі різкого перепаду яскравості пікселів усередині фантома (рис. 5).

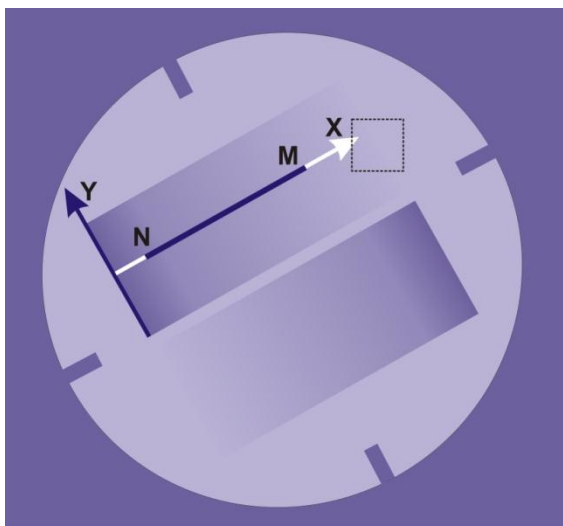


Рисунок 5 – Зареєстроване зображення для оцінки товщини зрізу

Перпендикулярно до осі Y проводимо відрізок NM (його напрямок збігається з віссю X) так, щоб він перетинав перехідну область із плавним збільшенням яскравості пікселів зображення похилої площини. Уздовж цього відрізка будують профіль яскравості виділеного зрізу (рис. 6, а – для фантома із клинами, рис. 6, б – для фантома з похилими пластинами).

Для того, щоб крива профілю яскравості виділеного зрізу містила не менш 5 зв'язів для заданої мінімальної товщини виділеного зрізу h , формула (1) повинна мати такий вигляд:

$$\operatorname{tg}(\alpha) \leq \frac{h}{5\Delta}.$$

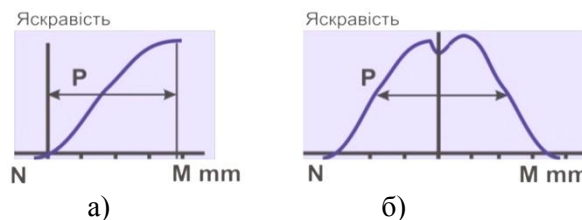


Рисунок 6 – Профілі яскравості виділеного зрізу: а) для фантома із клинами; б) для фантома з похилими пластинами

По отриманій функції (рис. 6, а, б) вимірюють ширину профілю зрізу (P). При використанні клинів ця величина являє собою ширину області зміни яскравості сигналу (перехідна область у діапазоні 5...95 % від максимального значення); якщо ж у якості тест-об'єкта використовуються похилі пластини, то ширина профілю зрізу оцінюється як ширина отриманого профілю на рівні половини максимального значення). Даний параметр оцінюють для двох клинів або двох похилих пластин, при цьому одержують два значення ширини профілю зрізу (P_1 і P_2 відповідно).

З урахуванням кута нахилу α розраховують товщину зрізу h по наступній формулі:

$$h = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot \frac{(P_1 + P_2)}{2}.$$

1.11 Артефакти зображення

В процесі проведення випробувань оцінюють також величини артефактів МР-зображення, до яких відносяться РЧ-квадратурний артефакт і артефакт фазового кодування.

Слід зазначити, що вимірювання артефакту фазового кодування проводиться за допомогою фантома, призначеного для оцінки відносини сигнал / шум, однак тут периферійні області інтересу будують іншим способом (рис. 7).

На отриманому зображенні розраховують середні значення яскравості пікселів усередині наступних областей:

- I_1 – в області інтересу (діаметр області інтересу становить 75% від діаметра зображення тест-об'єкта) усередині фантома;
- I_2, I_3 – всередині окружностей, центри яких розташовуються на осі OY, що проходить через центр МР-зображення, а самі окружності перебувають за межами зображення тест-об'єкта;
- I_4, I_5 – всередині окружностей, центри яких розташовуються на осі OX, що проходить через центр МР-зображення, а самі окружності перебувають за межами зображення тест-об'єкта.

В подальшому визначається величина артефакту фазового кодування G:

$$G = \frac{|(I_2 + I_3) - (I_4 + I_5)|}{2 \cdot I_1} \cdot 100\%.$$

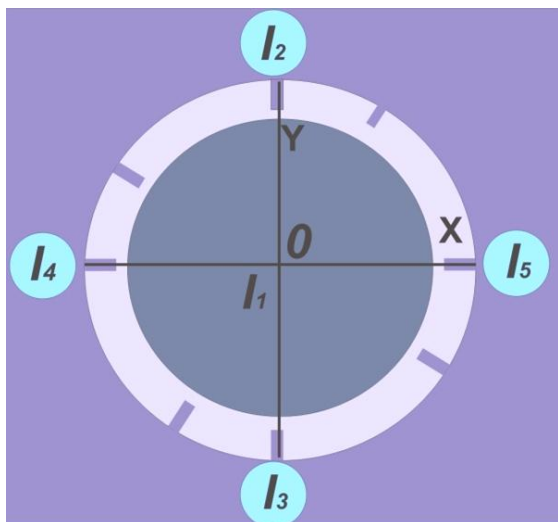


Рисунок 7 – Зареєстроване зображення фантома для оцінки артефакту фазового кодування

II Вибір фантому (тест-об'єкту)

2.1 Вимоги до розмірів фантому.

Для отримання контрольних зображень у процесі досліджень застосовують фантоми, геометричні розміри яких перевершують область робочої зони, яка представляє собою сферу з центром в ізоцентрі МР-системи із радіусом не менш 10 см при скануванні голови та не менше 20 см при скануванні тіла.

2.2 Тип фантому.

Циліндр, виконаний з оргскла, всередині якого знаходяться вставки, що необхідні для контролю параметрів, які визначають якість формованого зображення, а саме: клини, міри просторового дозволу, лінійні структури, які розміщені на рівній відстані одна від одної і які мають задані геометричні розміри, а також області з різними концентраціями сольового розчину $MnCl_2 \times 6H_2O$.

Фантом заповнений МР-контрастною рідиною.

III Вибір програмних засобів контролю

Обробка результатів вимірювань проводиться за допомогою спеціалізованого програмного комплексу «МРТ-програма», який забезпечує реєстрацію зображень, зберігання (згідно вимог міжнародного стандарту DICOM) та обробку зображень, оцінювання необхідних параметрів і характеристик, формування протоколу вимірювань.

IV Застосування ЗВТ

Для визначення параметрів і характеристик, які підлягають контролю, застосовують такі ЗВТ:

- мілітесламетр універсальний МТУ-1 (границі вимірювань – + / - 1999 мТл);
- вимірювач рівня електромагнітного поля TES-92 (динамічний діапазон – 75 дБ; діапазон частот – 50МГц – 3,5ГГц; напруженість електричного поля – 20 мВ/м ... 108 В/м; напруженість магнітного поля – 53 μ А/м...286.4 мА/м; щільність потоку енергії: 0 .. 3.093 мВт / см²);
- вимірювач напруженості електростатичного поля Warmbier 7100.EFM51 (режим E-Field – 0-800 кВ/м, режим CPS – $\pm$ 1.0 до $\pm$ 100 В);
- шумомір, аналізатор спектру АССИСТЕНТ СИУ (шум – 10 – 20000 Гц, інфразвук – 1,6 – 20 Гц, ультразвук – 12,5 – 40 кГц);
- рулетка механічна PVC (стрічка довжиною полотна – 10 м, шкала вимірювань – м, см, мм).

Висновки

Модифікована до вітчизняних умов методика контролю експлуатаційних параметрів магнітно-резонансних томографів апробована у закладах охорони здоров'я міста Одеси та підтверджена ефективність її застосування для різних МРТ.

Список використаних джерел

1. Злепко С.М. та ін. Медична апаратура спеціального призначення: ВНТУ, 2010. – 158 с.
2. IEC 60601-2-33 (2006). Medical electrical equipment - Part 2-33: Particular requirements for the safety of magnetic resonance equipment for medical diagnosis.
3. NEMA Standards Publication MS 1-2001 Determination of Signal-to-Noise Ratio (SNR) in Diagnostic Magnetic Resonance Imaging.
4. NEMA Standards Publication MS 2-2008 Determination of Two-Dimensional Geometric Distortion in Diagnostic Magnetic Resonance Imaging.
5. NEMA Standards Publication MS 3-2008 Determination of Image Uniformity in Diagnostic Magnetic Resonance Imaging.
6. NEMA Standards Publication MS 5-2003 Determination of Slice Thickness in Diagnostic Magnetic Resonance Imaging.
7. ACR Technical Standard for Diagnostic Medical Physics Performance Monitoring of Magnetic Resonance Imaging (MRI) Equipment (ACR Resolution 19, 1999-revised in 2009, Resolution 10).

8. Price R.R. and Axel L. Quality assurance methods and phantoms for magnetic resonance imaging: Report of AAPM nuclear magnetic resonance Task Group N.1 // Med. Phys. – 1990. – Vol.17. – PP. 287-95.

9. Зеликман М.И. и др. Методика и средства контроля эксплуатационных параметров магнитно-резонансных томографов // Медицинская техника. – 2010. – № 5 (263). – С. 27 – 31.

10. Constantinides C.D., Atalar E. and Mcveigh E.R. Signal-to-Noise Measurements in Magnitude Images from NMR Phased Arrays // Magn. Reson. Med. – 1997. – Vol. 38(5). – PP. 852 – 857.

Надійшла до редакції 27.10.2015

Рецензент: Козаченко М.Т., к.т.н., проф.
Одеська національна академія зв'язку ім.
О. С. Попова, м. Одеса.

А. И. Розмарица, Л. В. Коломиец, К. Ф. Боряк, Л. В. Кузнецова, А. И. Стариш

МОДИФИЦИРОВАННАЯ МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫХ ТОМОГРАФОВ

В статье представлена модифицированная к отечественным условиям методика контроля параметров магнитно-резонансных томографов.

Ключевые слова: магнитно-резонансный томограф, контроль, эксплуатация, качество.

A. I. Rozmarytsa, L. V. Kolomiets, K. F. Boriak, L. V. Kuznetsova, A. I. Starish

MODIFIED TECHNIQUE OF THE CONTROL MAGNETIC RESONANCE IMAGING PARAMETERS

The article presents a modified technique to domestic conditions for controlling the parameters of magnetic resonance tomographs.

Keywords: magnetic resonance imaging, inspection, maintenance, quality.

РОЗДІЛ 3

Інформаційно-вимірювальні системи і технології

С. О. Кравчук, д.т.н., Д. А. Міночкін, к.т.н.

Інститут телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «КПІ»

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДЛЯ СУЧАСНИХ СИСТЕМ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

В роботі розглянуті методи горизонтальної передачі обслуговування в сучасних системах стільникового зв'язку, зроблена їх класифікація. Проведено аналіз основних алгоритмів горизонтальної передачі обслуговування, виявлені їх переваги та недоліки. Показано, що незважаючи на їх велику кількість всі вони мають суттєві недоліки та потребують вдосконалення.

Ключові слова: стільниковий зв'язок, горизонтальна передача обслуговування.

Вступ

Однією з найважливіших властивостей територіально розподіленої системи радіодоступу є можливість підтримки в ній мобільності абонентських терміналів (АТ) або мобільних терміналів (МТ) по відношенню до обслуговуючих їх точок доступу базових станцій БС.

Аналіз методів горизонтальної передачі обслуговування систем. Класифікація і постановка задач

Через комірчасту структуру побудови територіально-розподілених систем радіодоступу, наприклад, стільникового рухомого зв'язку, абонент постійно переміщається з одного територіального осередку (стільника), що обслуговується однією точкою доступу, до іншого територіального осередку, що обслуговується іншою точкою доступу. Процедура підтримки безперервності обслуговування абонентського терміналу при такому переході між стільниками (осередками) і називається

передачею обслуговування (ПОб), або в англійській інтерпретації хендовер (handoff або handover). ПОб – це процес зміни каналу (частоти, часового слоту, коду розширення або їх комбінації), пов'язаний із забезпеченням безперервності з'єднання [1]. ПОб є критичним параметром у розв'язанні задач мобільного управління ресурсами для підтримки користувацької рухомості так, щоб зберігалися рівень обслуговування GoS (grade of service) і якість обслуговування QoS (quality of service) з'єднання. Тому, для подальших досліджень та розробки нових алгоритмів мобільного управління ресурсами важливо провести класифікацію методів ПОб та аналіз її основних алгоритмів.

В основу класифікації ПОб можуть бути покладені кілька факторів, такі як тип мережі або внутрішніх мережних елементів, кількість активних сполучень і види трафіку, які підтримують мережу. Така класифікація наведена на рис. 1.

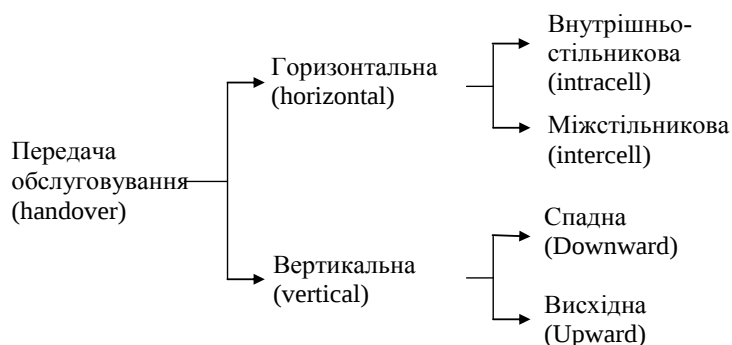


Рисунок 1 – Класифікація типів ПОб

ПОб може бути горизонтальною або вертикальною залежно від того, чи має місце ПОб між ме-

режними інтерфейсами одного типу або різними мережними інтерфейсами, відповідно. Горизонта-

льна ПОб в стільникових мережах зазвичай широко класифікується двома видами: внутрішньо стільниковим і міжстільниковим. Внутрішньо стільникова ПОб має місце, коли користувач, який рухається всередині стільника, змінює радіоканали для мінімізації міжканальних завад в зоні обслуговування однієї БС. Міжстільникова ПОб проводиться тоді, коли МС рухається до сусіднього стільника і відповідно всі з'єднання цієї МС повинні бути переключені до нової сусідньої БС [2].

ПОб може також бути класифікована на жорстку і м'яку [3] в залежності від того, яким чином БС обслуговує МС в критичний період виконання ПОб і чи є при цьому з'єднання користувача з більш ніж однією БС.

У разі жорсткої ПОб в один момент часу МС обслуговується тільки однією БС. Встановлення зв'язку з новою БС здійснюється тільки після роз'єднання з обслуговуючою БС. При жорсткій ПОб надмірне переривання з'єднання може збільшити коефіцієнт втрати викликів. Жорстка ПОб використовується такими системами як GSM і GPRS, де застосовуються багатостанційні методи доступу TDMA і FDMA. Жорстка ПОб є також обов'язковим методом для виконання ПОб в технології WiMAX.

М'яка ПОб може використовуватися для збільшення часу, необхідного для прийняття рішення на ПОб без втрати QoS. Однак, так як дані передаються по всіх лініях зв'язку, то часта м'яка ПОб може призвести до додаткових передач даних. Стільникові системи CDMA використовують техніку м'якої ПОб, засновану на можливості МС здійснювати зв'язок через більш ніж один кодовий канал, який придатний для зв'язку з більш ніж однією БС.

Горизонтальну ПОб прийнято розділяти на чотири типи:

1. Зміна каналів у межах однієї базової станції.
2. Зміна каналу однієї базової станції на канал іншої станції, що знаходиться під управлінням того ж BSC/RNC.
3. Перемикання каналів між базовими станціями, контрольованими різними BSC/RNC, але одним MSC.
4. Перемикання каналів між базовими станціями, за які відповідають не тільки різні BSC/RNC, а й різні MSC.

У загальному випадку проведення ПОб – завдання MSC. Але в двох перших випадках, які називають внутрішніми ПОб, щоб знизити наванта-

ження на комутатор і службові лінії зв'язку, процес зміни каналів управляється BSC/RNC, а MSC лише інформується про результат.

Останні два типи ПОб називаються зовнішніми передачами з'єднання і обробляються MSC, які беруть участь в з'єднанні.

Процедура горизонтальної ПОб складається з наступних чотирьох фаз [4]:

1) Вимірювання. Протягом цієї фази проводяться вимірювання параметрів радіолінії між МС і БС (потужність прийнятого сигналу RSS (Received Signal Strength), відношення сигнал/завада SIR (Signal to Interference Ratio), вимірювання відстані, коефіцієнт бітової помилки BER (Bit Error Rate)).

2) Ініціалізація. Метою даної фази є прийняття рішення про необхідність проведення процесу ПОб. Процес ПОб буде проводитися кожного разу, коли якість прийнятого сигналу погіршується всередині стільника або між двома сусідніми стільниками.

3) Рішення/вибір. Метою даної фази є вибір нового каналу, прийнятого в якості діючого ресурсу. Процес прийняття рішення на ПОб може бути централізованим і децентралізованим (тобто, рішення на ПОб може бути прийняте МС, або мережею). З точки зору процесу рішення можна виділити принаймні три різних види рішень на ПОб:

- ПОб, яка керується мобільним терміналом МСНО (Mobile - Controlled Hand Off). При МСНО МС здійснює безперервний моніторинг сигналів прилеглих БС і оцінку рівнів інтерференції на всіх каналах. ПОб може бути ініційована, якщо потужність сигналу обслуговуючої БС нижче порогового рівня, коли виклик може бути обслугований іншою БС. МС зажадає від цільової БС канал з найменшим рівнем інтерференції. Даний тип ПОб має малий час відгуку (порядку 0,1 с).

- ПОб, яка керується мережею НСНО (Network-Controlled Hand Off). При НСНО довколишні БС вимірюють сигнал від МС. Мережа ініціює процес ПОб, коли мають місце кілька критеріїв ПОб, а саме: рівень SIR і BER, які отримані в результаті вимірів на попередній фазі.

- ПОб при використанні допомоги МС МАНО (Mobile-Assisted Hand Off). При МАНО мережа вимагає від МС результати вимірювань сигналів, що надходять від довколишніх БС. Мережа формує рішення на ПОб, ґрунтуючись на отриманих даних від МС.

4) Виконання. У цій фазі мережа дозволяє МС, яка має встановлений зв'язок з БС в одному із

стільников, передати цей зв'язок до іншого каналу або іншому стільнику. Протягом цієї фази, виконуються процедури встановлення сигналізації через радіо - і мережеві інтерфейси, а також аутентифікація, оновлення бази даних користувачів і мережева реконфігурація.

Управління процесом ПОБ в кожній його фазі здійснюється в залежності від того, який алгоритм ПОБ є основним в даній мережі. Алгоритми ПОБ можуть бути класифіковані в широкому сенсі на: алгоритми із встановленням пріоритетів (Prioritization Schemes) і без встановлення пріоритетів NPS (Non-Prioritized Schemes). Алгоритми NPS, які використовуються в традиційних радіотехнологіях, не поділяють вихідні виклики абонентів та запити на ПОБ. Тому, будь-який вихідний дзвінок або запит на ПОБ будуть обслуговуватися до тих пір, поки є придатний канал в стільнику. Якщо ніякого вільного каналу не існує, то запит негайно блокується. Головним недоліком цього алгоритму є те, що за відсутності пріоритетності запитів на ПОБ над вихідними викликами ймовірність примусового закінчення зв'язку буде істотно вище ніж у разі наявності пріоритетів.

Так як ширина смуги безпроводової системи обмежена, то ефективною схемою ПОБ буде та, яка дозволить здійснювати більш високе використання пропускної здатності безпроводового каналу, але в той же час зберігати QoS запитів на ПОБ,

здебільшого за допомогою мінімізації ймовірності блокування запитів, затримки на передачу і ймовірності переривання викликів. Проте всі ці вимоги не можуть бути виконані одночасно і спільно, тому постійно ведеться пошук компромісу між ними. З точки зору користувачів зупинка виклику, що триває, є більш прикрою, ніж блокування нових викликів [5]. Отже, блокування ПОБ і ймовірність примусової зупинки повинні бути мінімізовані. Для досягнення реалізації цих вимог були розроблені ряд алгоритмів ПОБ з призначенням пріоритету.

Алгоритми ПОБ з встановленням пріоритетів забезпечують поліпшені характеристики ПОБ, але при цьому знижується загально допустимий трафік і збільшується ймовірність блокування нових викликів.

Тому, існує ряд алгоритмів ПОБ із встановленням пріоритетів, які підтримують різні сервіси та вимоги до різноманітного трафіку. Алгоритми ПОБ зі встановленням пріоритетів можуть бути надалі класифіковані на: каналне резервування (Channel Reservation), створення черг при ПОБ (Handoff Queueing), каналне переведення (Channel Transfer), алгоритми підрейтингів (Sub Rating), генетичні алгоритми (Genetic) і гібридні алгоритми (Hybrid), як показано на рис. 2.

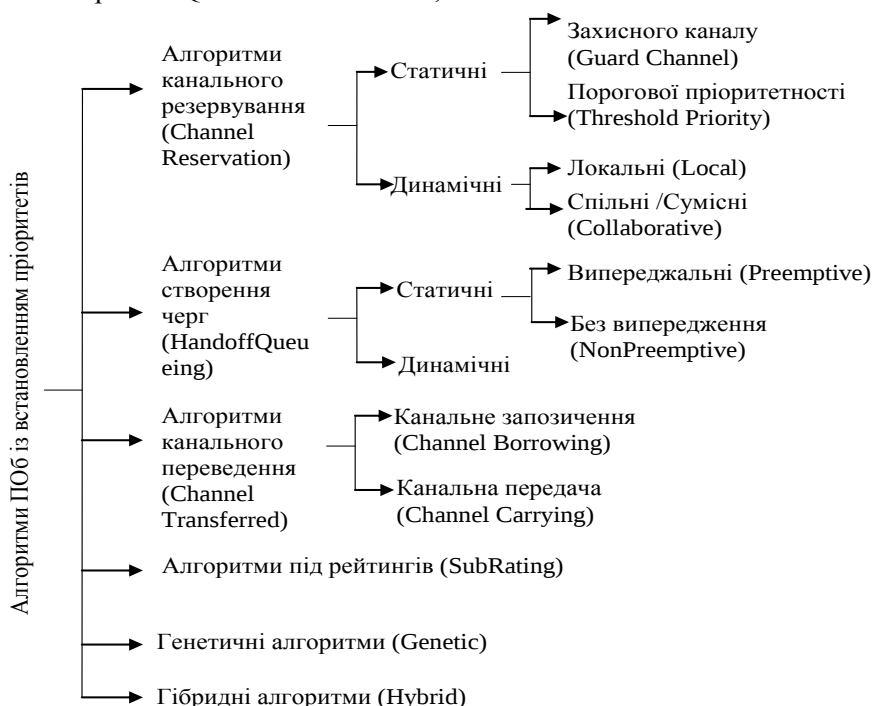


Рисунок 2 – Класифікація схем ПОБ із встановленням пріоритетів

Алгоритми резервування каналу

Статичні алгоритми резервування каналу SCRS (Static Channel Reservation Schemes). У SCRS встановлюються фіксовані пороги, щоб гарантувати, що наявні ресурси будуть розподілені на запити ПОБ і будуть виконані вимоги по його обслуговуванню. SCRS, в свою чергу, можуть бути розділені на алгоритми захисного каналу GCS (Guard Channel Schemes) і порогового пріоритету TPS (Threshold Priority Schemes) (рис. 2).

TPS або алгоритми обмеження нових викликів NCBS (NewCall Bounding Schemes) [6] забезпечують пріоритетність викликам ПОБ задаючи обмеження певної кількості нових викликів до системи за допомогою установки порога. Якщо кількість нових викликів, що приходять в стільник, перевищує поріг, то новий виклик блокується. Запит ПОБ відхиляється тільки тоді, коли в системі немає придатних каналів для нього. Ця схема добре працює в умовах високого навантаження.

З іншого боку в GCS певна кількість каналів резервується для пріоритетних запитів ПОБ. Решта каналів розподіляються порівну між новими викликами і запитами ПОБ.

В алгоритмах динамічного каналного резервування DCRS (Dynamic Channel Reservation Schemes) кожна БС динамічно адаптує канали, відведені для запитів на ПОБ, на основі зміни системних параметрів (наприклад, вид трафіку, положення користувачів). У порівнянні з фіксованою схемою це дозволяє БС наближено резервувати наявні ресурси і, таким чином, бути готовим до приймання все нових і нових запитів на підключення.

Алгоритми динамічного резервування DCRS можуть бути поділені на місцеві або локальні і розподілені [7] залежно від того, яким чином вони отримують необхідну інформацію для зміни параметрів системи: локальна інформація від обслуговуючої БС або інформація отримується від сусідніх БС.

Локальні алгоритми каналного резервування LCRS (Local Channel Reservation Schemes) регулюють кількість зарезервованих каналів відповідно до зміни параметрів системи (наприклад, поточного зниження швидкості ПОБ, зміни умов передачі трафіку і положення користувачів), використовуючи при цьому тільки локально доступну інформацію.

Для того, щоб застосувати динамічний підхід в багатокористувацькому середовищі обслуговування, було запропоновано алгоритм динамічного захисного каналу DGCS (Dynamic Guard Channel Scheme) [8]. В цьому алгоритмі, певна

кількість каналів зарезервовано для надання пріоритетних послуг. Канальний поріг кожної з послуг динамічно змінюється в залежності від навантаження. Алгоритми спільного каналного резервування CCRS (Collaborative Channel Reservation Schemes), з іншого боку, визначають кількість зарезервованих каналів на основі обміну інформацією з БС, або прогнозуванні мобільності і місце положення, завдяки інформації про використання ресурсів у сусідніх стільниках.

Алгоритми створення черг при ПОБ. Алгоритми створення черг при ПОБHQ (Handoff Queueing Schemes) дозволяють або вибудувати ПОБ в чергу, або вибудувати в чергу і нові виклики і запити на ПОБ. Це можливо внаслідок наявності певного часу проведення мобільного користувача у області, що є перекриттям сусідніх стільників і яка називається областю ПОБ. Якщо МС в області ПОБ і стільник призначення не мають вільних каналів, то МС зберігає свій зв'язок із вихідним стільником. Запит ПОБ стає в чергу і буде відправлений до БС стільника призначення коли з'явиться вільний канал. Алгоритми черг є ефективними тільки тоді, коли запити на ПОБ прибувають в групах і трафік є низьким, а у випадку, коли запити ПОБ подаються рівномірно - черги не потрібні.

Алгоритми ПОБ з каналним переведенням. Ключовою особливістю алгоритмів ПОБ з каналним переведенням CTHS (Channel Transferred Handoff Schemes) є те, що у випадку, коли немає доступних каналів для розміщення запиту на ПОБ, від сусіднього стільника для цього може бути переданий вільний канал.

Алгоритми підрейтингу SRS (Sub Rating Schemes) зменшують смугу пропускання існуючих викликів для того, щоб прийняти більше запитів на ПОБ. Тобто, деякі поточні виклики можуть бути примусово завершені або діяти в рамках усіченого режиму, щоб вмістити більше запитів на ПОБ в перевантаженій системі [9]. Застосовуючи цей алгоритм, одна половина вихідного каналу може бути використана, щоб обслуговувати існуюче з'єднання, а інша – запити на ПОБ, так щоб примусове завершення викликів могло бути практично виключене. Слід зазначити, що механізм Sub Rating каналів активується тільки тоді, коли всі канали зайняті але є потреба в передачі запиту на ПОБ. Коли такий половинний канал звільняється, то відновлюється оригінальний канал з повним рейтингом. Алгоритм SRS знижує ймовірність блокування запитів на ПОБ і ймовірність примусового завершення викликів за рахунок зменшення інформаційної складової пропускну здатності системи.

Гібридні алгоритми ПОб NHS (Hybrid Handoff Schemes) є комбінаціями всіх приведених алгоритмів. Ключова ідея полягає в об'єднанні різних політик пріоритезації в цілях подальшого зниження ймовірності блокування або поліпшення використання каналу [10]. Завдяки цьому можна стверджувати, що проведено сучасну класифікацію горизонтальної ПОб на додаток до виконаної раніше вертикальної [11].

Висновки

В роботі було проведено класифікацію горизонтальної ПОб, а також аналіз основних алгоритмів прийняття рішення про передачу обслуговування, виявлено їх основні переваги та недоліки. Показано, що, незважаючи на їх велику кількість, всі вони мають суттєві недоліки та потребують вдосконалення.

Список використаних джерел

1. Кравчук С. А. Состояние и направления развития процедур передачи обслуживания в сотовых системах мобильной связи // Матер. 23 й Международной Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (Кры-МиКо'2013). Севастополь, 8 – 13 сентября 2013 г. – Севастополь. Вебер, 2013. – С. 279 – 280.
2. Mobility SuPort in IP: A Survey of Related Protocols / D. Saha, A. Mukherjee, I.S. Misra, M. Chakraborty // IEEE Network, Vol. 8, no. 6, 2004, P. 34 – 40.
3. Mobility Management in Current and Future Communications Networks / I. F. Akyildiz, J. McNair, J. Ho, H. Uzunalioglu, and W. Wang // IEEE Network, Vol. 12, no. 4, 1998, P. 39 – 49.
4. Verdone R., Zanella A. Performance of Received Power and Traffic-Driven handover algorithms in Urban Cellular Networks // IEEE Wireless Commun., Vol. 9, no. 1, 2002, P. 60 – 71.
5. Diederich J., Zitterbart M. Handoff Prioritization Schemes Using Early Blocking // IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 7, no. 2, 2005, P. 26 – 45.
6. Fang Y., Zhang Y. Call Admission Control Schemes and Performance Analysis in Wireless Mobile Networks // IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 51, no. 2, 2002, P. 371 – 382.
7. Ghaderi M., Boutaba R. Call Admission Control in Mobile Cellular Networks: A Comprehensive Survey // Wireless Communications and Mobile Computing, Vol. 6, no. 1, 2005, P. 69 – 93.
8. Dynamic handoff scheme in differentiated QoS wireless multimedia networks / Y. Wei, C. Lin, F. Ren, R. Raad, and E. Dutkiewicz // Computer Communications, Vol. 27, no. 10, 2004, P. 1001 – 1011.
9. Proportional degradation services in wireless / mobile adaptive multimedia networks / Y. Xiao, H. Li, C. L. Philip Chen, B. Wang, and Y. Pan // Wireless Communications and Mobile Computing, Vol. 5, no. 2, 2005, P. 219 – 243.
10. Cruz-Perez F. A., Ortigoza-Guerrero L. Flexible Resource Allocation Strategies for Class-Based QoS Provision in Mobile Networks // IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 53, no. 3, 2004, P. 805 – 819.
11. Кравчук С. О. Класифікація методів вертикальної передачі обслуговування / С. О. Кравчук, Д. А. Міночкін // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип.12(137). – С. 38 – 40.

Надійшла до редакції 23.10.2015

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С. В., Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, м. Київ.

С. А. Кравчук, д.т.н., Д. А. Миночкин, к.т.н.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНО ПЕРЕДАЧИ ОБСЛУЖИВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ СОТОВОЙ СВЯЗИ

В работе рассмотрены методы горизонтальной передачи обслуживания в современных системах сотовой связи, сделана их классификация. Проведен анализ основных алгоритмов горизонтальной передачи обслуживания, выявлены их преимущества и недостатки. Показано, что, несмотря на их большое количество, все они имеют существенные недостатки и нуждаются в совершенствовании.

Ключевые слова: сотовая связь, горизонтальная передача обслуживания.

S. O. Kravchuk, ScD, D. A. Minochkin, Ph.D

CLASSIFICATION OF HORIZONTAL TRANSMISSION SERVICE IN A MODERN CELLULAR COMMUNICATIONS SYSTEM

The paper discusses methods of horizontal handover in modern cellular systems, made their classification. The analysis of the basic algorithms horizontal handover, identified their advantages and disadvantages. It is shown that in spite of their large number, they all have significant drawbacks and need to be improved.

Keywords: cellular, horizontal handover.

УДК 006.91-027.21

А. О. Стопакевич, к.т.н.

Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова, м. Одеса

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ИУС

Решена задача моделирования случайного процесса изменения погрешности датчика температуры при непрерывном съеме показаний в цифровой информационно-управляющей системе. На примере системы управления теплообменником показано, что учет погрешности датчика температуры при моделировании позволяет более точно оценивать качество управления.

Ключевые слова: погрешность, датчик, термометр сопротивления, моделирование, качество, система управления.

Постановка проблемы. Развитие информационно-управляющих систем (ИУС) и переход на технологию сенсорных сетей, в которых все элементы системы соединены с компьютером с помощью специального компьютерного интерфейса, не вносящего дополнительных погрешностей, ставит проблему моделирования систем, в которых необходимо производить высокоточное измерение и управление. В рамках рассматриваемой проблемы выделим задачу моделирования случайного процесса изменения погрешности датчика при непрерывном съеме показаний в цифровой системе автоматического управления (САУ). В статье решается указанная задача для САУ температуры с использованием платинового термометра сопротивления класса А.

Анализ литературы. Задача измерения температуры с помощью термометров сопротивления исследована во множестве литературных источников. В первую очередь основные требования к термометрам описаны в стандарте [1]. Далее, погрешности подробно исследованы, например, в литературных источниках [2 – 6]. Анализ литературы показывает, что, хотя погрешности датчиков в значительной степени исследованы и нормированы, моделирование случайного процесса изменения погрешности датчика в процессе непрерывного съема показаний в цифровой ИУС исследовано недостаточно.

Моделирование функционирования датчика температуры. В соответствии со стандартом [1] максимальная погрешность термометра сопротивлений определяется классом допуска. Для платинового термометра сопротивлений класса допуска А, максимальная погрешность измерения температуры определяется по формуле:

$$t_{ME} = \pm (0,15 + 0,002|t|),$$

где $|t|$ – модуль температуры, °С; t_{ME} – максимальная погрешность измерения при заданной температуре.

Погрешность измерений температуры в процессе функционирования САУ является стационарным случайным процессом с нормальным распределением вероятности. Параметрами такого случайного процесса является среднеквадратическое отклонение и математическое ожидание погрешности. Поскольку для термометра сопротивления систематическая погрешность не нормирована, математическое ожидание погрешности равно нулю. Тогда, приняв по рекомендации [7] доверительную вероятность, равную 95%, определим, что среднеквадратическое

отклонение погрешности σ определяется по формуле

$$\sigma = t_{ME} / 2,58.$$

В соответствии со стандартом [8] тепловая инерция – это величина, которая численно равна интервалу времени, по истечению которого разница между температурами среды и датчика составляет 0,368 от первоначальной разности. Тогда, моделирует инерционность датчика инерционное звено первого порядка вида

$$W_{TS}(s) = \frac{1}{T_{TS}s + 1},$$

где T_{TS} – показатель тепловой инерции.

Выберем термометр ТСП 012-011 с показателем тепловой инерции равным 15 с.

Модель блока датчика температуры для программы Matlab Simulink показана на рисунке 1.

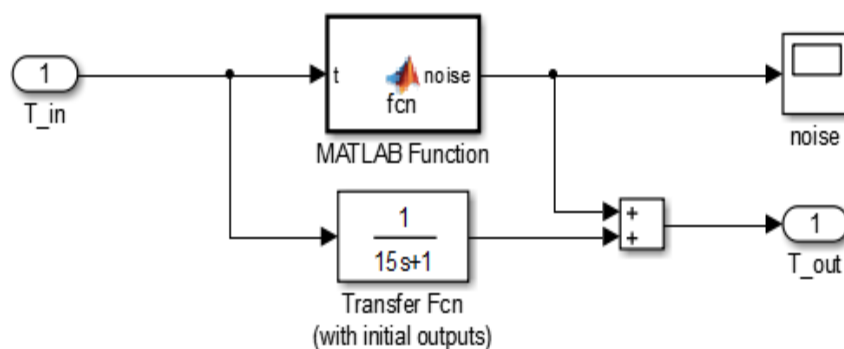


Рисунок 1 – Модель блока датчика температуры

Модель блока датчика температуры содержит два основных блока, а именно блок передаточной функции (Transfer Fcn) и блок пользовательской функции noise (MATLAB Function). Функция noise имеет следующий вид:

```
function noise = fcn(t)
t_me=0.15+0.002*abs(t);
sr_otkl=t_me/2.58;
```

```
noise=sr_otkl*rand(1,1)*2-sr_otkl;
end
```

Результат моделирования погрешности выбранного термометра сопротивления в окрестности температуры 90 °С приведен на рисунке 2.

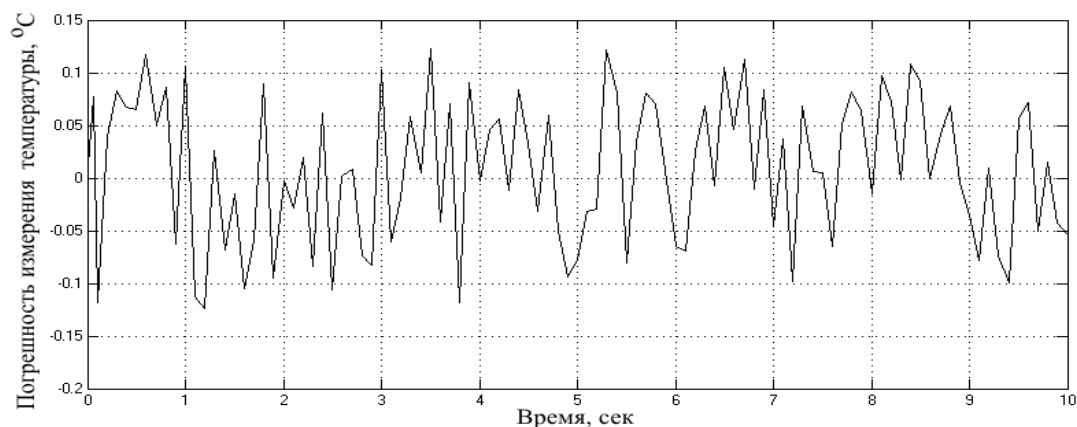


Рисунок 2 – Результаты моделирования погрешности датчика температуры

Моделирование системы управления температурой. Для исследования влияния погрешности измерений на качество функционирования САУ температуры, проведем моделирова

ние работы системы управления парожидкостным теплообменником. Модель САУ в Matlab Simulink приведена на рисунке 3.

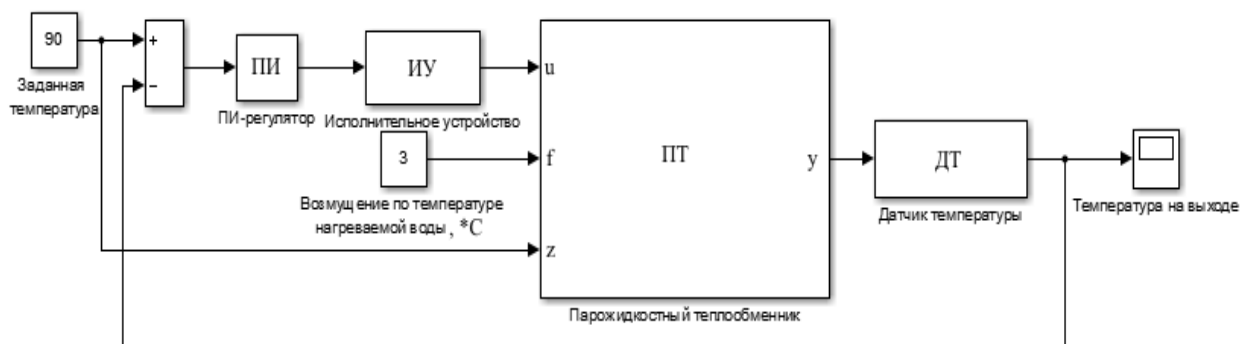


Рисунок 3 – Модель САУ температуры

Для моделирования динамики теплообменника выберем следующие условия работы: расход воды – 10 кг/с, расход пара – 0,87 кг/с, начальная температура воды – 20 °С, конечная температура воды – 90 °С [9].

Результат моделирования САУ при уменьшении температуры нагреваемой воды на 3 °С с 20 °С до 17 °С, как при моделировании абсолютно точного датчика, так и датчика с погрешностью, приведен на рисунке 4.

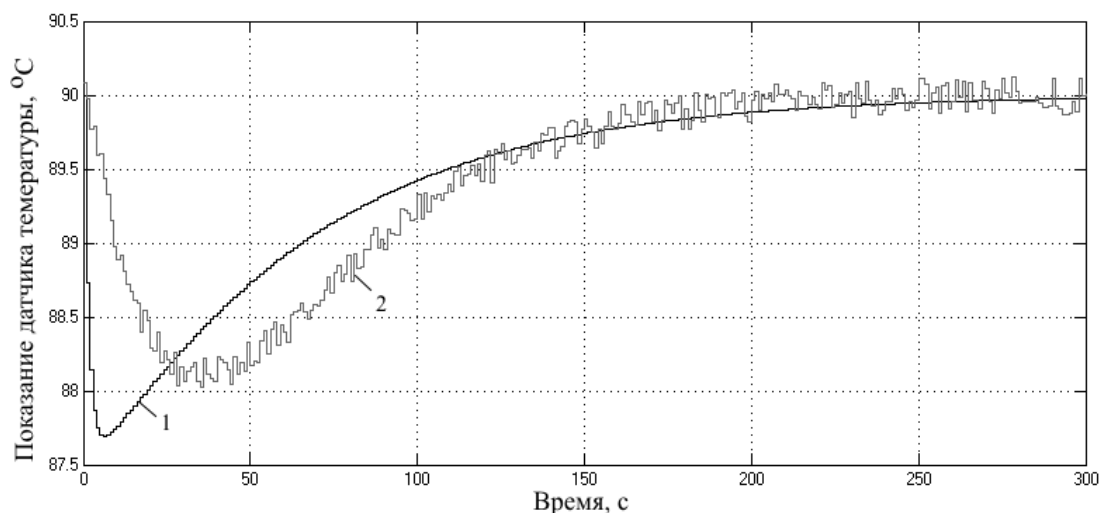


Рисунок 4 – Результаты моделирования переходных процессов в САУ: 1 – при моделировании абсолютно точного датчика; 2 – при моделировании датчика с погрешностью

Выводы

Проведено моделирование случайного процесса изменения погрешности датчика при непрерывном съеме показаний в цифровой информационно-управляющей системе. Моделирование показывает, что, например, в системе автоматического управления теплообменником учет метрологических характеристик датчика температуры и, соответственно, его модели, позволяет более точно оценить качество переходных процессов при действии возмущения или изменении задания. Процессы в системе при моделировании абсолютно точного датчика и датчика с погрешностью отличаются, особенно в области максимальных отклонений, по которым судят о качестве управления.

Перспективы исследования. При разработке современных систем управления сложными технологическими объектами большое значение имеет точность используемых математических моделей. Особенно это касается многомерных систем управления, качество работы которых во многом зависит от точности используемых математических моделей. Поэтому, моделирование метрологических характеристик распространенных в промышленности датчиков, является перспективной научной задачей. Учет погрешностей датчиков и погрешностей воспроизведения управляющих воздействий исполнительных устройств позволит повысить качество разрабатываемых современных высокоточных информационно-управляющих систем.

Список использованных источников

- ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний. – М: Стандартинформ, 2011.
- Гриневич Ф. Б. Особливості та метрологічні характеристики платинових термоперетворювачів опору / Ф. Б. Гриневич, Д. В. Мелещук // Техн. електродинаміка. – 2001. – № 6. – С. 66–68.
- Crovini R. Resistance Thermometers // Sensors. A Comprehensive Survey. Thermal Sensors. – NY: VCH Publishers, 1992. – V.4. – P. 69 – 119.
- Моисеева Н. П. Неопределенность значения температуры, измеренной платиновым термометром сопротивления / Н. П. Моисеева // Приборы. – 2002. – № 12. – С. 30 – 34.
- Моисеева Н. П. Выбор интерполяционного уравнения для платинового термометра сопротивления / Н. П. Моисеева // Измерительная техника. – 2010. – № 6. – С. 34 – 38.
- Yamazawa K. Improvements to the Johnson noise thermometry system for measurements at 505 - 800 K / K. Yamazawa, W. L. Tew, A. Pollarolo, H. Rogalla, P. D. Dresselhaus, and S. P. Benz // Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry. Proceedings of the Ninth International Temperature Symposium. – Melville, NY: AIP Publishing, 2013. – V. 8. – P. 23 – 29.
- Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерения/ П. В. Новицкий, Н. В. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
- ГОСТ 8.256-77. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерений. – М: Издательство стандартов, 1977.
- Стопакевич А.А. Разработка модели и программных средств для создания робастной системы управления теплообменником / А. А. Стопакевич // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – № 7. – 2015. – С. 51 – 61.

Надійшла до редакції 24.10.2015

Рецензент: д.т.н., доц. Загребнюк В. І., Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

А. О. Стопакевич, к.т.н.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОХИБКИ ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРИ ПРИ РОЗРОБЦІ ВИКОКОТОЧНИХ ІУС

Розв'язана задача моделювання випадкового процесу зміни похибки датчика температури при неперервному зніманні показань в цифровій інформаційно-управляючій системі. На прикладі системи управління теплообмінником показано, що врахування похибки при моделюванні дозволяє більш точно оцінювати якість управління.

Ключові слова: похибка, термометр опору, моделювання, якість, система управління.

А. А. Stopakevich, PhD

SIMULATION OF A THERMOMETER SENSOR IN DESIGN OF HIGH PRECISION ICS

The resistance thermometer random process error change simulation problem with continuous metering within framework of digital information and control systems is solved. It was shown on the heat exchanger control system example that simulating with errors accounting allows to more accurately evaluate the control quality.

Keywords: error, resistance thermometer, precision modeling, quality, control system

В. В. Скачков, д.т.н., Г. Д. Братченко, д.т.н., Г. Г. Смаглюк, Г. С. Бондаренко

Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНУТРИСИСТЕМНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА КАЧЕСТВО РЕШЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В АДАПТИВНОЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Теоретически оценивается влияние неидентичности частотных характеристик приемных каналов в многоканальной адаптивной радиотехнической системе с антенной решеткой и основным (опорным) каналом на качество подавления внешних шумовых помех. Полученные теоретические результаты используются для оценки отношения сигнал-шум в основном канале при имитационном моделировании влияния внутрисистемных возмущений на корреляцию радиолокационных дальностных портретов с идеальными портретами и могут использоваться для прогнозирования качества радиолокационного распознавания объектов на основе известных зависимостей.

Ключевые слова: внутрисистемные возмущения, шумовая помеха, адаптивная антенная решетка, коэффициент подавления, широкополосный сигнал, радиолокационный дальностный портрет.

Вступление

Адаптивные радиотехнические системы (РТС) обладают возможностью перестраивать свои характеристики, приспосабливаясь к окружающей среде, включая помеховую обстановку. При этом для повышения помехоустойчивости РТС широко используются адаптивные антенные решетки (ААР), позволяющие формировать провалы в диаграмме направленности в направлении на источники внешних помех.

В отличие от устранимых внешних помех случайные внутрисистемные возмущения принципиально неустраняемы. Поэтому, рассматривая проблему адаптации к внешней среде, необходимо дополнительно оценивать возможное влияние на результат решения информационной задачи внутрисистемных возмущений, в том числе, порождаемых неидентичностью частотных характеристик приемных каналов. Двумерная задача рассмотрена в [1]. Одной из таких задач является распознавание радиолокационных объектов. Зависимости качества распознавания воздушных целей от отношения сигнал-шум для различных алфавитов классов приведены, например, в [2, 3]. При этом одним из наиболее информативных признаков является корреляционная сумма радиолокационных дальностных портретов (РЛДП) с эталонными РЛДП.

Целью работы является получение оценок влияния неидентичности частотных характеристик приемных каналов ААР на качество подавления помех и решения информационных задач, связанных с распознаванием класса объекта, для более общего случая N -мерной РТС.

Изложение основного материала

Рассмотрим адаптивную РТС с антенной решеткой и основным (опорным) каналом, который выделен для приема полезной информации. Структура такой системы приведена на рис. 1, где обозначены частотные характеристики каналов приема $G_i(\omega)$, $i = \overline{0, N}$. Здесь полагаем, что действующие на систему случайные процессы представляют собой шумовые помехи.

В установившемся режиме оптимальный по критерию минимума выходной мощности помехи параметрический вектор $\mathbf{W}_{\text{опт}}$ адаптивной системы, приведенной на рис. 1, определяется через взаимные корреляционные моменты помехи $\mathbf{A}_{\text{шш}} = M[\mathbf{U}(t)\mathbf{U}^T(t)]$, $\boldsymbol{\alpha} = M[u_0(t)\mathbf{U}(t)]$ и равняется $\mathbf{W}_{\text{опт}} = \mathbf{A}_{\text{шш}}^{-1} \boldsymbol{\alpha}$. Выходная мощность помехи, в этом случае, имеет минимальную величину. Очевидно, что минимальный уровень помехи на выходе адаптивной системы, при прочих равных условиях, зависит от вектора взаимной корреляции скалярного процесса $u_0(t)$ в опорном канале и наблюдаемого на входе антенной решетки векторного случайного процесса $\mathbf{U}(t)$: $\boldsymbol{\alpha} = M[u_0(t)\mathbf{U}(t)]$.

Скалярный процесс $y_0(t)$ на выходе фильтра с импульсной характеристикой $h_0(t)$ представляет собой одномерную свертку

$$y_0(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h_0(t, \tau) u_0(\tau) d\tau = h_0(t) * u_0(t).$$

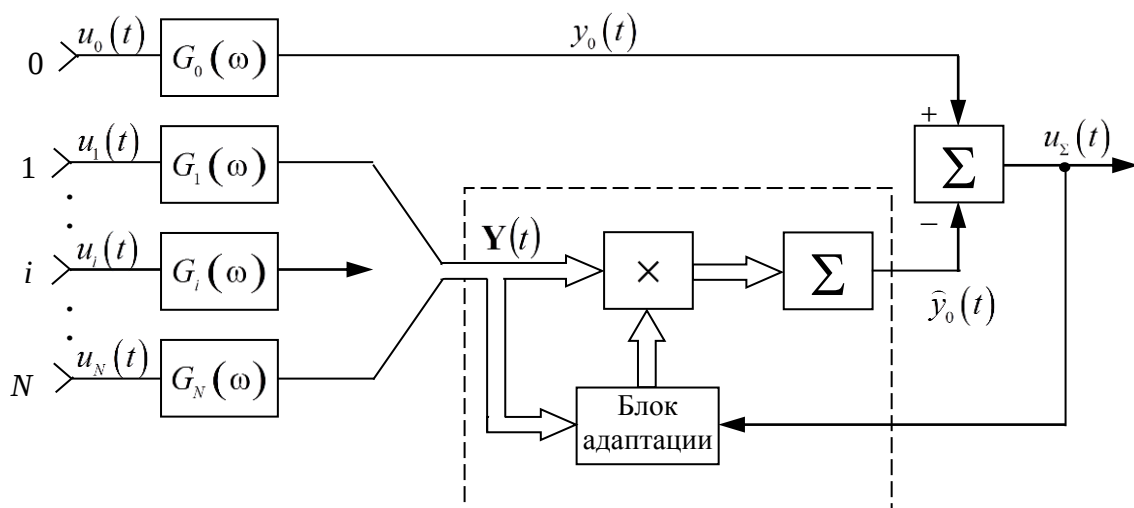


Рисунок 1 – Адаптивная радиотехническая система с антенной решеткой и основным каналом

В свою очередь N -мерный векторный процесс $\mathbf{Y}(t)$ на выходе решетки представляет результат многомерной свертки

$$\mathbf{Y}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \mathbf{H}(t, \tau) \mathbf{U}(\tau) d\tau = \mathbf{H}(t) * \mathbf{U}(t).$$

Одномерная $y_0(t)$ и многомерная $\mathbf{Y}(t)$ свертки представляют собой трансформанты Фурье в соответствующих преобразованиях:

$$y_0(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F[h_0(t) * u_0(t)] e^{j\omega t} d\omega;$$

$$\mathbf{Y}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F[\mathbf{H}(t) * \mathbf{U}(t)] e^{j\omega t} d\omega,$$

где F – обозначает оператор Фурье-преобразования.

Вектор взаимной корреляции процессов $y_0(t)$ и $\mathbf{Y}(t)$ на выходе частотных фильтров можно определить как

$$\mathbf{a}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_0(\omega) \mathbf{S}^*(\omega) G_0^*(\omega) \mathbf{G}(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega,$$

где $S_0(\omega)$ – спектр комплексной огибающей скалярного процесса $u_0(t)$;

$\mathbf{S}(\omega)$ – спектр комплексных огибающих векторного процесса $\mathbf{U}(t)$;

$G_0(\omega)$ – комплексная частотная характеристика основного (опорного) канала приема;

$\mathbf{G}(\omega)$ – матрица комплексных частотных характеристик каналов решетки;

Произвольная i -я компонента $\alpha_i(\tau)$ N -мерного вектора взаимных корреляционных моментов $\mathbf{a}(\tau) = M[\alpha_i(t)]$, $i = \overline{1, N}$, равна

$$\begin{aligned} \alpha_i(\tau) &= M[y_0(t) y_i(t, \tau)] = \\ &= N_m \int_{-\infty}^{+\infty} G_0(\omega) G_i(\omega) e^{j\omega(\tau_i + \tau)} d\omega, \end{aligned}$$

где $\tau_i = i \Delta\tau$.

Модуль соответствующего коэффициента корреляции имеет значение

$$\rho_{0i}(\tau) = \frac{|\alpha_i(\tau)|}{\sigma_0 \sigma_i} = \frac{1}{\sigma_0 \sigma_i} \sqrt{\text{Re}^2 \alpha_i(\tau) + \text{Im}^2 \alpha_i(\tau)}, \quad (1)$$

где $\sigma_0^2 = M[u_0^2(t)]$; $\sigma_i^2 = M[u_i^2(t)]$ – дисперсии помехи на выходах основного и i -го канала решетки, соответственно.

Примем, что частотные характеристики каналов решетки аппроксимируются гауссовыми кривыми и запишем выражения для частотных характеристик основного $G_0(\omega)$ и произвольного i -го канала решетки $G_i(\omega)$:

$$G_0(\omega) = \exp \left[- \left(\frac{\omega - \omega_0}{\Delta\omega_0} \right)^2 - j(\omega - \omega_0)t_0 \right];$$

$$G_i(\omega) = \exp \left[- \left(\frac{\omega - \omega_0 - \delta \omega_0}{\sigma_\Delta \Delta \omega_0} \right)^2 - j(\omega - \omega_0 - \delta \omega_0) t_i \right],$$

где $\Delta \omega_0$ – ширина полосы пропускания основного канала решетки;

t_0 и t_i – постоянные группового запаздывания, соответственно, в основном и i -ом каналах решетки;

$\delta \omega_0$ – расстройка по средней частоте канала;

$\sigma_\Delta = \Delta \omega_i / \Delta \omega_0$ – коэффициент рассогласования полос пропускания i -го $\Delta \omega_i$ и основного $\Delta \omega_0$ каналов приема

Если полагать, что дисперсия помехи во всех каналах одинакова, то после подстановки выражений $G_0(\omega)$ и $G_i(\omega)$ в (1) и выполнения ряда преобразований получим результат [1, 4, 5]:

$$\rho_{oi} = \frac{q_n}{1 + q_n} \sqrt{\frac{2\sigma_\Delta}{1 + \sigma_\Delta}} \times \exp \left\{ - \frac{1}{1 + \sigma_\Delta^2} \left[(\sigma_\Delta \sigma_\omega)^2 + \frac{\Delta \omega_0^2 (\tau + \delta \tau_i)^2}{4} \right] \right\}, \quad (2)$$

где $\sigma_\omega = \delta \omega_0 / \Delta \omega_0$ – относительная расстройка по средней частоте;

$\delta \tau_i = t_0 - t_i + \tau_i$ – временной сдвиг наблюдаемых процессов, обусловленный как разносом в пространстве фазовых центров основного (информационного) и i -го каналов решетки, так и различной величиной группового запаздывания процессов в этих каналах.

Выражение (2) представляет зависимость модуля коэффициента корреляции между основным и произвольным каналом решетки (рис. 1) от неидентичности по полосе пропускания, а также от рассогласования по резонансной частоте и времени.

Оценим качество адаптации РТС с N -мерной ААР адаптирующейся к внешней помеховой ситуации по критерию минимума выходной мощности помехи в установившемся режиме. Для этого воспользуемся обобщенным показателем: $\delta = J[\mathbf{w}_{\text{опт}}(\mathbf{X})] / J[\mathbf{w}_{\text{опт}}(\mathbf{X}, \Delta \mathbf{X})]$ [6]. Присутствующие в этом показателе результаты согласованной обработки и обработки оптимальной по критерию минимума мощности помехи на выходе теперь будут равны: $J[\mathbf{w}_{\text{опт}}(\mathbf{X})] = P_{\text{ш}};$ $J[\mathbf{w}_{\text{опт}}(\mathbf{X}, \Delta \mathbf{X})] = A_{00} / K_n(\sigma_\Delta, \sigma_f, \sigma_\tau),$ где

$K_n(\sigma_\Delta, \sigma_f, \sigma_\tau)$ – коэффициент подавления помехи.

Таким образом, в условиях внутрисистемных декоррелирующих факторов, качество адаптации системы (рис. 1) к воздействию внешних помех определяется величиной отношения

$$\delta = \frac{|\tilde{\mathbf{A}}(N, N)|}{(1 + q_n) |\tilde{\mathbf{B}}(N + 1, N + 1)|}, \quad (3)$$

где

$$\tilde{\mathbf{A}}(N, N) = \tilde{\mathbf{A}} \in \mathbb{R}^{N \times N};$$

$$\tilde{\mathbf{B}}(N + 1, N + 1) = \tilde{\mathbf{B}} \in \mathbb{R}^{(N+1) \times (N+1)}.$$

На рис. 2, 3 приведены построенные по выражению (3) зависимости показателя качества адаптации системы с N -мерной решеткой (рис. 2) от величины относительных расстройок каналов приема по времени σ_τ и центральной частоте σ_f , когда отношение помеха-шум имеет значение $q_n = 30$ дБ, а размерность решетки равна: а) $N=10$; б) $N=50$.

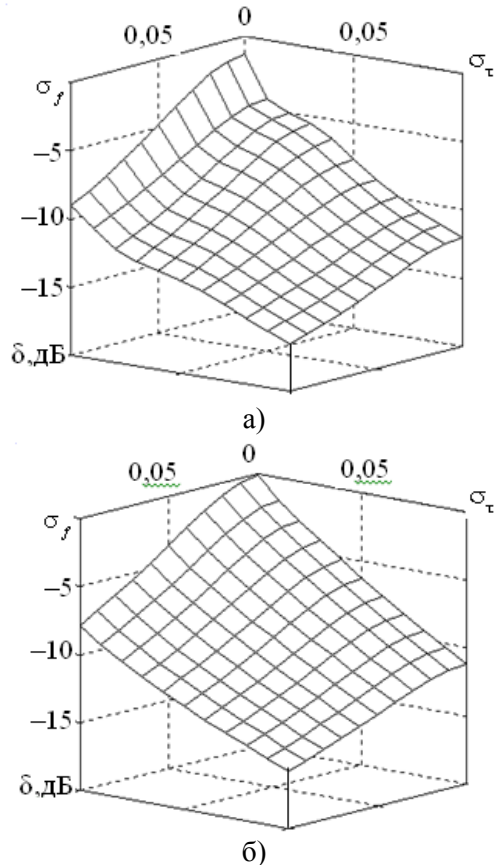


Рисунок 2 – Влияние расстройок каналов по несущей частоте σ_f и времени σ_τ на качество адаптации системы с N -мерной решеткой при $\sigma_\Delta = 1$: а) $N=5$; б) $N=50$

Поверхности на рис. 2 построены, когда рассогласование каналов по полосе пропускания отсутствует: $\sigma_{\Delta} = 1$. Результатам на рис. 3 соответствует коэффициент рассогласования полос, равный $\sigma_{\Delta} = 0,95$.

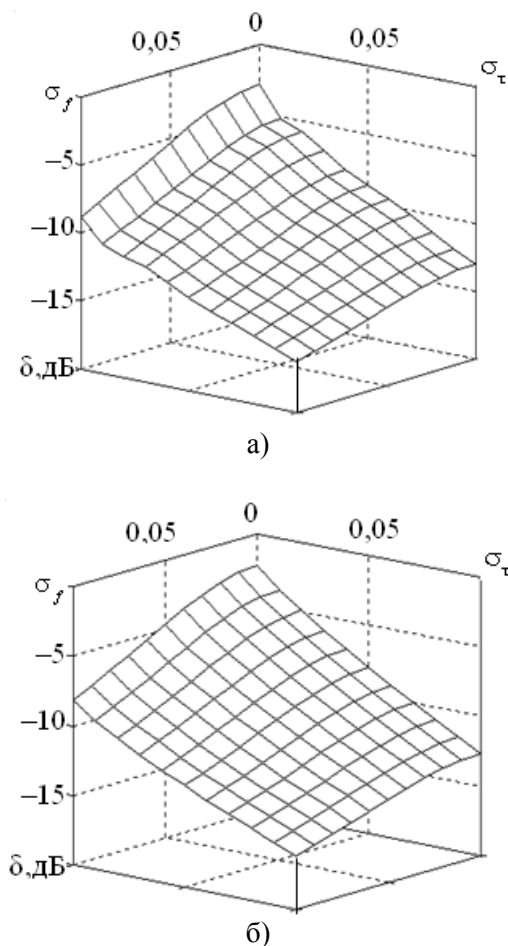


Рисунок 3 – Влияние расстроек каналов по несущей частоте σ_f и времени σ_{τ} на качество адаптации системы с N -мерной решеткой, при расстройке по полосе $\sigma_{\Delta} = 0,95$:
а) $N = 5$; б) $N = 50$

Из результатов на рис. 3 видно, что качество адаптации РТС с N -мерной решеткой существенным образом снижается при возрастании как временного рассогласования σ_{τ} , так и неидентичности настройки на резонансную частоту σ_f . Результаты рис. 3 иллюстрируют потерю качества адаптации системы с неидентичными по полосе пропускания каналами $\sigma_{\Delta} = 0,95$, при условии их рассогласования по времени σ_{τ} и резонансной частоте σ_f . Здесь следует заме-

тить, что возрастание размерности системы N способствует некоторому повышению качества ее адаптации в условиях декоррелирующих факторов. Однако выигрыш этот весьма несущественен и, как следует из результатов на рис. 2, 3, для данных условий составляет примерно от 1,5 до 2 дБ.

Сравнение между собой зависимостей на рис. 2 и 3 позволяет сделать вывод о преобладании, по сравнению с прочими, веса тех декоррелирующих факторов, которые являются причиной временного рассогласования $\sigma_{\tau} = \Delta F \tau$ процессов, наблюдаемых в каналах адаптивной системы с антенной решеткой. Так, при независимых расстройках по времени σ_{τ} , резонансной частоте σ_f или полосе пропускания σ_{Δ} на 5%, то есть $\sigma_{\tau} = 0,05$, $\sigma_f = 0,05$, $\sigma_{\Delta} = 0,95$, качество адаптации системы падает, соответственно, на $\delta_{\tau} = (7 \div 8)$ дБ (рис. 2), $\delta_f = (3 \div 4)$ дБ (рис. 2), $\delta_{\Delta} = (2 \div 3)$ дБ (рис. 3).

С использованием приведенных выше аналитических результатов методом имитационного моделирования оценим влияние частотных расстроек каналов на степень искажения полезного сигнала. В качестве полезных сигналов на выходе адаптивной РТС примем РЛДП самолетов Ту-16, В-1В и МиГ-29. Методика их моделирования описана в [7]. Как и в [7], качество портретов на выходе адаптивной РТС будем оценивать по максимуму коэффициента взаимной корреляции искаженных и неискаженных (эталонных) РЛДП.

Имитационное моделирование искажений сигнала в опорном канале проводилось при следующих параметрах зондирующего ЛЧМ радиоимпульса с прямоугольной огибающей: длительность 13,65 мкс и девиация частоты 150 МГц. Отношение сигнал-шум в опорном канале задавалось равным 20 дБ. Количество реализаций, по которым производилось усреднение для каждой точки на приведенных далее графиках коэффициентов корреляции, составляло $N=51$. Результаты моделирования показывают незначительное возрастание корреляции портретов при расширении полосы частот опорного канала (рис. 4). При этом частотная характеристика приемного тракта меньше влияет на процесс согласованной фильтрации сигнала, однако расширение полосы частот канала приема может привести к увеличению уровня внешних шумов.

Расстройка по частоте в основном канале в пределах 15 % от полосы частот тракта (150 МГц) не приводит к значительным измене-

ниям коэффициента корреляции, составляющим порядка 10^{-3} .

Далее рассмотрим результаты моделирования влияния взаимной расстройки по несущей частоте и временного рассогласования каналов антенной решетки. Для рассмотренных выше условий (рис. 2, б; рис. 3, б) указанные дестабилизирующие факторы могут привести к снижению отношения сигнал-(помеха+шум) на выходе РТС в пределах до 15 дБ. Поэтому снижение корреляции РЛДП на выходе опорного канала с эталонным РЛДП фактически определяется снижением отношения сигнал-(помеха+шум). Если исходное отношение сигнал-шум составляло 20 дБ, то ожидаемое может уменьшиться до 5 дБ.

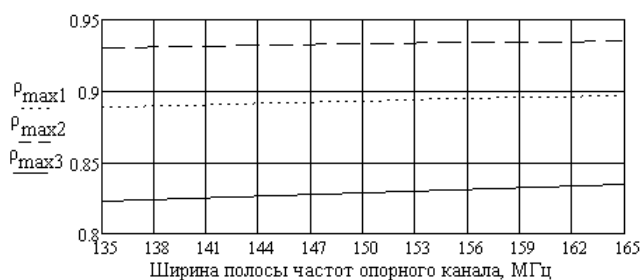


Рисунок 4 – Зависимости максимума корреляции идеального и искаженного РЛДП самолетов Ту-16 ($\rho_{\max 1}$), В-1В ($\rho_{\max 2}$) та МиГ-29 ($\rho_{\max 3}$) от ширины полосы частот опорного канала РТС

Для иллюстрации такого подхода к оценке корреляции РЛДП при моделировании нижний предел отношения сигнал-шум был принят равным 10 дБ, поскольку результаты моделирования показали значительное снижение коэффициента корреляции уже в пределах изменения отношения сигнал-шум от 20 до 10 дБ (рис. 5).

Для тех же условий моделирования получены зависимости для коэффициентов взаимной корреляции РЛДП самолетов с неискаженными шумами (эталонными) портретами самолетов двух других типов (рис. 5).

Как видно из графиков на рис. 5, коэффициенты корреляции, уменьшаются при снижении отношения сигнал-шум. При этом снижение взаимной корреляции портретов разных типов целей происходит медленнее, что особенно заметно на рисунке 5, б. Графики построены по усредненным значениям коэффициентов корреляции. С учетом разброса этих значений и тем более при большем разнообразии РЛДП следует ожидать возрастания вероятности ошибочного распознавания целей.

Зависимости средней вероятности ошибочного распознавания воздушных целей для раз-

ных алфавитов классов от отношения сигнал-шум при широкополосном зондировании приведены, например, в [2, 3]. В [3] также представлены подобные зависимости для информативности алфавитов классов.

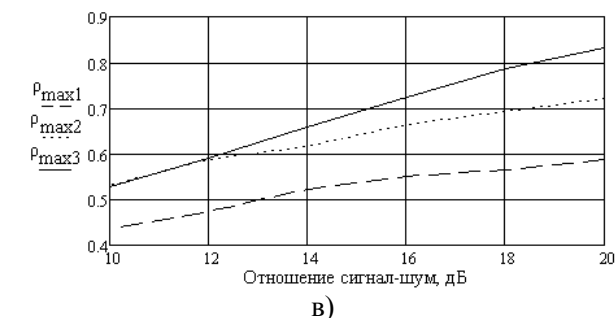
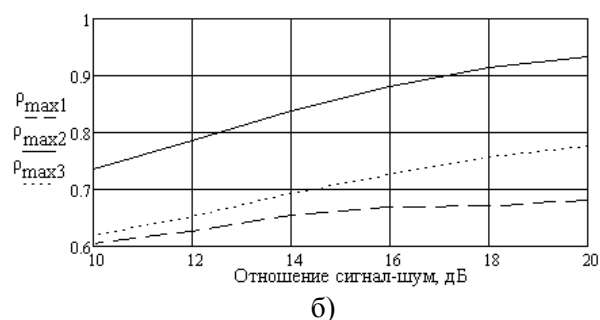
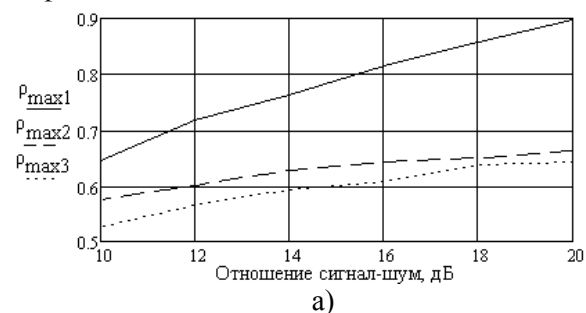


Рисунок 5 – Зависимости максимума корреляции искаженных портретов самолетов Ту-16 ($\rho_{\max 1}$), В-1В ($\rho_{\max 2}$) та МиГ-29 ($\rho_{\max 3}$) с эталонными портретами одного из самолетов: а) Ту-16; б) В-1В; в) МиГ-29

Все они получены методом математического моделирования распознавания целей. Основываясь на представленных выше теоретических расчетах и зависимостях в [2, 3], имеется возможность прогнозировать качество распознавания воздушных целей в условиях воздействия внешних шумовых помех и внутрисистемных дестабилизирующих факторов в адаптивной РТС в установившемся режиме.

Выводы

Получены теоретические результаты оценки влияния декоррелирующих факторов на качество адаптации информационной радиотехнической системы для РТС с опорным каналом, которые

указывают на необходимость разработки общего подхода к решению задачи синтеза адаптивных систем устойчивых или, по крайней мере, локально-инвариантных к влиянию внутрисистемных факторов декорреляции, независимо от природы их происхождения.

Предложена методика учета влияния декоррелирующих факторов на качество решения информационных задач с применением широкополосных сигналов в адаптивной РТС, основанная на использовании полученных теоретических результатов и дополнительного имитационного моделирования.

Список використаних джерел

1. Адаптивная компенсация помех в каналах связи / Ю. И. Лосев, А. Г. Бердников, Э. Ш. Гойхман и др.; Под. ред. Ю. И. Лосева. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
2. Ширман Я. Д. Методы радиолокационного распознавания и их моделирование / Я. Д. Ширман, С. А. Горшков, С. П. Лещенко, Г. Д. Братченко, В. М. Орленко // Зарубежная радиоэлектроника: успехи современной радиоэлектроники. – 1996. – № 11. – С. 3 – 63.
3. Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Recognition, Detection, and Tracking / Y. D. Shirman, S. A. Gorshkov, S. P. Leshchenko, V. M. Orlenko, S. Y. Sedyshev, O. I. Sukharevskiy / Y. D. Shirman editor. – Boston – London: Artech house, 2002. – 294 с.
4. Монзинго Р.А. Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: Пер. с англ.; Под ред. В.А. Лексаченко. – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.
5. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.
6. Скачков В. В. Анализ эффективности адаптивной обработки сигналов в условиях дестабилизирующих воздействий / В. В. Скачков // Радиотехника. – 1998. – № 11. – С. 10 – 14.
7. Братченко Г. Д. Моделювання впливу дестабілізуючих факторів на форму дальнісних портретів в радіолокаційних системах з антенними решітками / Г. Д. Братченко, Г. Г. Смаглюк // Збірник наукових праць ОДАТРЯ. – Одеса, 2015. – вип. 1(6). – С. 119 – 125.

Поступила в редакцію 20.10.2015

Рецензент: д.т.н., професор Величко О.М., Одеська державна академія технічного регулювання та якості.

В. В. Скачков, д.т.н., Г. Д. Братченко, д.т.н., Г. Г. Смаглюк, Г. С. Бондаренко

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВНУТРІШНЬОСИСТЕМНИХ ЗБУРЕНЬ НА ЯКІСТЬ РІШЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ЗАДАЧ В АДАПТИВНІЙ РАДІОТЕХНІЧНІЙ СИСТЕМІ

Теоретично оцінюється вплив неідентичності частотних характеристик каналів прийому в багатоканальній адаптивній інформаційно-вимірювальній системі з антенною решіткою та основним (опорним) каналом на якість придушення зовнішніх шумових завад. Отримані теоретичні результати використовуються для оцінювання відношення сигнал-шум в основному каналі при імітаційному моделюванні впливу внутрішньосистемних збурень на кореляцію радіолокаційних дальнісних портретів з ідеальними портретами і можуть використовуватись для прогнозування якості радіолокаційного розпізнавання об'єктів на основі відомих залежностей.

Ключові слова: внутрішньосистемні завади, шумова завада, адаптивна антенна решітка, коефіцієнт придушення, широкосмуговий сигнал, радіолокаційний дальнісний портрет.

V. V. Skachkov, DSc, H. D. Bratchenko, DSc, G. G. Smagluk, G. S. Bondarenko

EVALUATION OF THE INFLUENCE INTRASYSTEM DISTURBANCES ON THE QUALITY OF SOLUTION OF INFORMATION PROBLEMS IN ADAPTIVE RADIO SYSTEMS

Effect of non-identical frequency characteristics of receiving channels in a multichannel radio system with adaptive antenna array and the main (reference) channel on the quality of suppression of external noise jamming is theoretically estimated. The theoretical results are used to evaluate the signal to noise ratio in the main channel in the simulation of influence of disturbances on the correlation of radar range profiles with the ideal profiles and can be used to predict the quality of the radar targets recognition based on the known dependencies.

Keywords: intrasystem disturbances, noise jamming, adaptive antenna array, suppression factor, wide-band signal, radar range profiles.

ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ЯКОСТІ НАДАННЯ МЕДИЧНИХ ПОСЛУГ

У статті представлена методика кваліметричного аналізу, завдяки якій виявлені чинники негативного впливу на якість надання медичних послуг; визначені кількісні оцінки значущості цих чинників і вироблені рекомендації по усуненню тих, що найбільш негативно впливають.

Ключові слова: медичні послуги, якість, експертна оцінка, кваліметрія, охорона здоров'я, анкетування

Вступ

Кількісна оцінка якості надання медичних послуг потрібна для ухвалення рішень, які витікають з різних значень цієї оцінки. Саме набір рішень дозволяє визначити остаточний склад показників, використовуваних в розрахунковому алгоритмі визначальних показників і способи операцій з цими показниками.

Мета статті: Розробка методики оцінювання якості надання медичних послуг на основі застосування принципів кваліметрії.

Постановка проблеми

Для проведення аналізу якості надання медичних послуг використані методи кваліметрії. Кваліметрія – це область знань, присвячена методам кількісного оцінювання якості будь-яких об'єктів [1].

Використовуючи методи кваліметрії, можна визначити кількісні оцінки якості різних об'єктів, у тому числі і виробів медичної техніки, надання медичних послуг, персоналу і так далі.

Для оцінки якості об'єктів кваліметрія надає загальні принципи отримання кількісних оцінок якості, на основі яких забезпечується перехід до певних рішень відносно оцінюваних об'єктів.

Основне завдання кваліметрії полягає не стільки в отриманні кількісних оцінок якості об'єктів і розробки алгоритмів переходу від оцінок за одиничними показниками до оцінок за комплексними показниками, скільки в прийнятті на їх основі рішень про якість об'єктів, а при необхідності і по управлінню якістю цих об'єктів.

Важливою відмінністю кваліметричного оцінювання від звичайного обстеження об'єкту, будь то пацієнт або клініко-діагностична лабораторія (КДЛ), є забезпечення максимальної об'єктивності процесу пошуку рішень по оцінюваному об'єкту [2].

Кваліметричний аналіз дозволить швидко виявити чинники, що негативно впливають на якість надання медичних послуг, визначити кількісні оцінки значущості цих чинників і виробити

рекомендації по усуненню тих, що найбільш негативно впливають [3].

Основна частина

Провівши аналіз застосування принципів кваліметрії в сфері охорони здоров'я, методику кваліметричного аналізу можна представити у вигляді:

А. Визначення цілей, складання плану і схем обстежуваного об'єкту;

Б. Відбір експертів і формування експертних груп;

В. Вибір методики опитування експертів. Складання анкет по виявленню чинників, що впливають на якість надання медичних послуг;

Г. Проведення експертного опитування;

Д. Складання загального переліку причин, ранжирування чинників;

Ж. Виділення найбільш важливих чинників, що впливають на якість надання медичних послуг;

Е. Розробка рекомендацій по поліпшенню якості надання медичних послуг.

Для вирішення завдань по поліпшенню якості надання медичних послуг складено 2 завдання-еталони, а саме:

• При визначенні лікарем-терапевтом діагнозу і подальшого призначення лікування є істотні проблеми з правильністю результатів діагностування, кваліфікацією персоналу, якістю медичних препаратів, оплатою праці і так далі.

• У КДЛ є проблеми з обслуговуванням виробів медичної техніки, укомплектованістю кваліфікованим персоналом, інформативністю та оплатою праці.

Необхідно провести дослідження методом кваліметричного аналізу та запропонувати план заходів, спрямованих на підвищення якості надання медичних послуг.

РІШЕННЯ:

Відповідно до методики:

Менеджером з якості розроблений комплексний план по поліпшенню якості надання медичних послуг, складені за участю медичного персоналу схеми обстежуваних об'єктів. Схемами є план досліджуваних об'єктів з вказівкою потоків таких об'єктів, як документи, медичні препарати, вироби медичної техніки, пацієнти, а також з вказівкою місця знаходження персоналу, складування лікувальних засобів, шляхів переміщення пацієнтів – все, що істотно для надання якісної медичної послуги.

Схема технологічного процесу складає частину орієнтуючої інформації для експертів, опитуваних на 1-му етапі, і дозволяє звернути їх увагу на загальні причини і чинники, що негативно позначаються, або що можуть позначитися, на якості надання послуг.

Інша частина орієнтуючої інформації складала звернення до експертів з вказівкою мети роботи, формулюванням питань, на які слід дати відповіді і прикладами можливих відповідей.

Для проведення якісного аналізу роботи лікарів були задіяні 25 лікарів вищої категорії, а для КДЛ-15 керівників цих лабораторій. Усі вони виконують однакові функції і дали згоду співпрацювати з організатором групи. Надалі цих осіб ми будемо називати експертами.

Проводився кваліметричний аналіз якості роботи лікарів і КДЛ по встановленню чинників, що негативно впливають на якість надання медичної послуги.

Для проведення опитування були складені 2 пакети анкет № 1 та № 2, № 3 та № 4:

АНКЕТА 1:

Шановний експерт!

З метою визначення шляхів вдосконалення процедури надання медичних послуг, адміністрація лікарні проводить опитування лікарів вищої категорії.

Прохання вказати, які на вашу думку чинники сприяють зниженню якості встановлення діагнозу і подальшого призначення лікування.

Дякуємо за участь!

АНКЕТА 2:

Шановний експерт!

З метою визначення шляхів вдосконалення процесу діагностики в КДЛ проводиться опитування їх керівників.

Прохання вказати, які чинники на вашу думку сприяють зниженню якості діагностування.

Дякуємо за участь!

Інформація, отримана в результаті опитування експертів по анкетах № 1 та № 2, оброблялася, і складався загальний перелік чинників, що

негативно впливають на якість встановлення діагнозу і подальшого призначення лікування, а також сприяють зниженню якості діагностування в КДЛ.

Складання анкет № 3 та № 4 проводилося на основі, отриманих на першому етапі даних, після складання звідного переліку необхідних чинників. Звідний перелік цих чинників включався в анкету № 3 та № 4 з метою ранжирування їх за значимістю впливу на якість роботи відділення експертами.

АНКЕТА 3:

Шановний експерт!

З метою визначення шляхів вдосконалення процедури надання медичних послуг, адміністрація лікарні проводить опитування лікарів вищої категорії.

Прохання відмітити за допомогою рангів міру, з якою кожен із запропонованих чинників сприяє зниженню якості встановлення діагнозу і призначення подальшого лікування. Наприклад, навпроти найзначимішого чинника поставити 1 ранг, навпроти менш значимого 2 і так далі у міру зменшення негативного значення чинника на якість медичної допомоги.

Чинники, що впливають на якість встановлення діагнозу і подальшого лікування в лікарні:

1. Низький рівень оплати праці медперсоналу;
 2. Неточність результатів клініко-діагностичних досліджень;
 3. Низька якість фармацевтичних препаратів;
 4. Адміністративне втручання;
 5. Низька кваліфікація медперсоналу;
 6. Проблеми з нормативними документами.
- Дякуємо за участь!

АНКЕТА 4:

Шановний експерт!

З метою визначення шляхів по процесу діагностики в КДЛ, проводиться опитування їх керівників.

Прохання відмітити за допомогою рангів міру, з якою кожен із запропонованих чинників сприяє зниженню якості діагностування в КДЛ. Наприклад, навпроти найзначимішого чинника поставити 1 ранг, навпроти менш значимого 2 і так далі у міру зменшення негативного значення чинника на якість діагностування.

Чинники, що впливають на якість процедури діагностування:

1. Низька кваліфікація персоналу КДЛ;
2. Невідповідність умов і безпеки праці;
3. Проблеми з сервісним обслуговуванням

виробів медтехніки;

4. Відсутність метрологічного забезпечення виробів медтехніки;

5. Низький рівень оплати праці співробітників КДЛ;

6. Проблеми з інформаційними ресурсами.

Дякуємо за участь!

Основним засобом отримання відомостей є опитування експертів. Методична бездоганність опитування експертів служить підставою для затвердження надійності отриманих результатів [4, 5].

Основним організаційним завданням групової експертизи є створення умов для якнайповнішого і вільнішого від спотворень виявлення інформації, наявної у експертів і створення умов для усебічного аналізу цієї інформації експертами з різних точок зору. Необхідна умова повного і неспотвореного виявлення суджень експертів – правильне застосування різних способів опитування залежно від конкретних обставин експертизи.

Загальною вимогою, яка дотримувалася при проведенні опитування, є вимога дотримання принципу нейтральності.

Нині відомі наступні способи опитування експертів:

Заочне анкетування – коли експерт заповнює карту опитування, користуючись тільки пояснювальною запискою. Цей спосіб застосовують в усіх випадках, коли можна добитися, можливо, повнішої взаємної ізоляції експертів. Позитивні особливості способу анкетування:

- спосіб дозволяє досягти найбільшої в порівнянні з іншими способами, відносно ізоляції експертів;

- спосіб дозволяє отримати найбільш продумані відповіді, оскільки експерт практично не обмежений в часі.

Основні недоліки способу:

- вимагає значних витрат часу;
- має місце неповне повернення анкет;
- при багатократному анкетуванні високий ефект конформізму та ін.

Усі вказані негативні особливості заочного анкетування можуть привести до того, що при зовнішній переконливості методики проведеного опитування, значному числі опитаних, їх високий кваліфікації і так далі, результати опитування виявляться грубо помилковими.

Змішане анкетування, при якому експерт заповнює карту опитування, користуючись консультацією з боку особи, що проводила опитування. Цей спосіб застосовують в тих випадках, коли належить неодноразово роз'яснювати експертові неясні або нечітко сформульовані питан-

ня анкети. Заповнення анкет у присутності організатора спрощує підготовку пояснювальної записки, а також дозволяє значно скоротити час проведення операції, унеможливити неповне повернення анкет.

Спосіб змішаного анкетування частіше застосовують в експертних методиках з періодичними опитуваннями, чим при одноразових опитуваннях. Це обумовлено тим, що недоліки способу, які у разі опитування в один тур можуть сильно спотворити результати, значно слабшають при проведенні декількох турів. Найважливіші з цих недоліків наступні:

- в процесі роз'яснення окремих питань організатор невірно орієнтує усю групу експертів на власне розуміння бажаної відповіді;

- у присутності організатора і інших членів експертної групи кожен експерт може запропонувати оцінки, що відрізняються від тих, які він запропонував би при обдумуванні наодинці;

- в умовах обмеженого часу обдумування відповідей є не таким ретельним, як при заочному анкетуванні.

Все ж, в цілому, спосіб змішаного анкетування значно зручніший для вирішення завдань групової експертизи в медицині, чим заочне анкетування.

Змішане анкетування слід застосовувати в усіх випадках, коли умови роботи дозволяють регулярно збирати експертів і регулярно працювати з ними.

Мобільне анкетування – це спеціальний вид змішаного анкетування запропонований для розробки систем пошуку рішень (діагнозу, рекомендацій по вибору тактики лікування, управлінських рішень і тому подібне) в тій типовій для медицини ситуації, коли число фахівців, здатних виступати в ролі експертів, украй невелике, починаючи з трьох експертів.

Враховуючи мале число експертів, а також необхідність тривалого обдумування при побудові схеми пошуку рішення, опитування експертів проводять індивідуально з мобільно схемою опитування, що міняється від експерта до експерта. Організатор, під час очної зустрічі роз'яснює експертові мету роботи і результати, отримані в процесі попереднього опитування інших експертів. Потім він передає розроблені фрагменти схеми для подальшої роботи: виправлень і доповнень. Опитування експертів йде по колу, причому кожен експерт може не знати, хто працював над схемою безпосередньо перед ним, – це знижує ефект конформізму.

Результатом мобільного анкетування є звичай побудова логічної схеми пошуку рішень. Логічна схема є особливим видом алгоритму

комплексної оцінки якості, в якій використані як обчислювальні, так і логічні операції.

Мобільне анкетування дозволяє збільшити об'єм і якість інформації, що отримується від експертів і фіксується в інших способах шляхом групового опитування по єдиній анкеті. При опитуванні по єдиній анкеті зміст і об'єм отриманої інформації фактично залежать від укладача анкети, рівень знань якого може опинитися нижче рівня знань висококваліфікованих фахівців в області предмета експертизи. Тому основний об'єм індивідуальної інформації з питання, що вивчається, може виявитися незатребуваним, що негативно позначається на якості результатів роботи.

Заповнення карти опитування, з наміченим для кожного експерта у загальних рисах логічним ланцюгом питань і передбачуваних відповідей, що ведуть до кінцевої мети, – визначенню рішення – стимулює експерта на прояв максимальної компетентності. Крім того, неясні і спірні питання він може включити в анкету для відповіді подальшим експертам.

Спосіб мобільного анкетування вимагає, проте великих витрат часу з боку організатора, якому доводиться неодноразово розмовляти з усіма експертами, готувати для кожного наново карту опитування і, отже, проводити більше 10 турів експертизи.

Інтерв'ю – бесіда з експертом з намічених питань найзручніше для організатора, оскільки не вимагає підготовки ні карти опитування, ні пояснювальної записки. Потрібний лише невеликий план-список питань, які організатор збирається задати експертові. Інтерв'ю проводять по цьому плану, але завжди з помітними відступами від нього. Не обов'язково в ході інтерв'ю отримати відповідь на усі підготовлені питання. Інтерв'ю можна проводити на початку експертизи, як операцію, сприяючу уточненню формулювання питань, які слід поставити перед експертами.

За результатами проведених інтерв'ю може бути сформований основний інформаційний масив, тобто якнайповніший набір даних, використовуваних на подальших етапах експертизи.

Відоме також непряме опитування, яке застосовують в тих випадках, коли мета експертизи не може бути повідомлена експертам, наприклад, з міркувань секретності. Основні питання, відповідь на які представляє інтерес для замовника експертизи і організатора, поміщають серед багатьох питань, підібраних так, щоб дезорієнтувати експерта, створити у нього неправдиве уявлення про мету опитування.

Непряме опитування проводять, як правило, у формі інтерв'ю із записом на магнітофон. Від-

мінність полягає в тому, що ніякі відхилення від складеного списку питань не недопустимі.

Недоліки цього способу опитування наступні:

- завдяки тому, що експерт не знає справжньої мети опитування, він формує у своїй свідомості іншу, неправдиву мету і, виходячи з цього розуміння, висловлює свої судження з пропонованих питань;

- значний час йде на підготовку до опитування, підбір відволікаючих і тестуючих питань.

Глибокий аналіз проблеми методом непрямого опитування виконати неможливо. Спосіб дуже трудомісткий і завжди виникають сумніви в повноті і релевантності отримуваних даних.

Тому непряме опитування в завданнях медицини застосовується у виняткових випадках.

Відомий *спосіб «фокус-груп»*, де фокус-група – це 7 – 10 чоловік, які проводять дискусію по заздалегідь складеному плану і спрямовану на виявлення суджень представників різних груп з кваліметричних питань в умовах невимушеної обстановки.

Цей спосіб зручно застосовувати для виконання коротко - і середньострокових прогнозів перспективних вимог до якості медичної допомоги в умовах цієї установи.

Проаналізувавши усі види опитувань, зупинимося на мобільному анкетуванні, яке дозволяє отримати якнайповнішу якісну інформацію з питань, що нас цікавлять.

Опитування експертів проводилося окремо по кожній професійній групі (лікарі вищої категорії – анкета № 1, керівники КДЛ – анкета № 2) відносно дійсних і можливих причин, що негативно впливають на виконання їх безпосередніх функцій на робочому місці.

За результатами опитування був складений звідний перелік причин і їх ранжирування по важливості (рівню) впливу на якість надання медичних послуг. Потім виставлялася сума усіх рангів чинника, запропонованих експертами, складався узагальнений ранг, і будувалася діаграма суми рангів.

За результатами опитування відібраних експертів, були виявлені чинники, що негативно впливають на якість надання медичних послуг як при встановленні діагнозу і призначенні процедури лікування, так і при діагностуванні в КДЛ, які після проведеного узагальнення і ранжирування по сумах рангів, вносились в таблиці 1 та 2.

Узагальнення, як і опитування, проводилося окремо по кожній професійній групі для виявлення найбільш значимих, саме для них, чинників, що негативно впливають на якість роботи.

Таблиця 1 – Чинники, що негативно впливають на якість встановлення діагнозу і призначення подальшого лікування

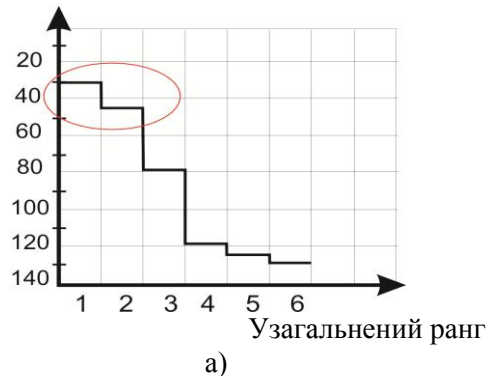
Суми рангів	ФАКТОРИ	Узагальнений ранг
0	Неточність результатів клініко-діагностичних досліджень	(1)
5	Низька кваліфікація медичного персоналу	(2)
9	Низька якість фармацевтичних препаратів	(3)
19	Низький рівень оплати праці медперсоналу	(4)
24	Проблеми з нормативними документами	(5)
28	Адміністративне втручання	(6)

Таблиця 2 – Чинники, що негативно впливають на якість діагностування в КДЛ

Узагальнений ранг	Суми рангів	ФАКТОРИ
(1)	22	Відсутність метрологічного забезпечення виробів медтехніки
(2)	31	Низька оплата праці співробітників КДЛ
(3)	51	Проблеми з сервісним обслуговуванням виробів медтехніки
(4)	54	Низька кваліфікація персоналу КДЛ
(5)	76	Проблеми з інформаційними ресурсами
(6)	81	Невідповідність умов і безпеки праці

За результатами ранжирування побудовані перевернуті діаграми сум рангів, отриманих кожною причиною (рис. 1).

Сума рангів



Сума рангів

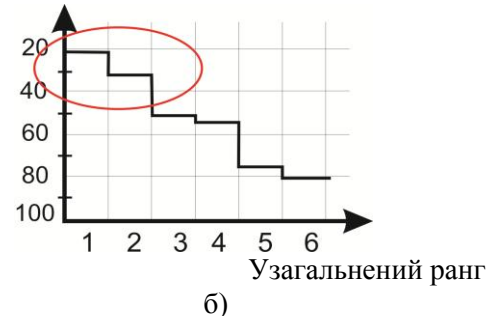


Рисунок 1 – Перевернута діаграма сум рангів для виділення найважливіших чинників, які впливають на якість: а) встановлення діагнозу і призначення подальшого лікування; б) діагностування в КДЛ

На цих діаграмах виділені дві основні причини (чинники), що зайняли перші місця і відокремлені від інших відносно великою різницею рангів.

Після виділення найважливіших чинників виконується завершальний етап, спрямований на пошук способів усунення негативного впливу цих чинників, що буде виконано авторами в подальшому.

Список використаних джерел

1. Применение методов статистического анализа для изучения общественного здоровья и здравоохранения. Под ред. чл.-корр. РАМН, проф. В. З. Кучеренко. – М.: «Гэотар - Медиа», 2007 – 256 с.
2. Капцов В. А., Кучеренко В. З., Кутовой В. С., Ведмеденко Л. Ф. Руководство по применению квалиметрии в профилактической медицине. М.: 2001.
3. Азгальдов Г. Г. Квалиметрия, как средство обогащения и уточнения информации в здравоохранении // Информатика в здравоохранении. Материалы Всесоюзной научной конференции. – М.: 1990.

4. Клинический менеджмент / Под ред. А. И. Вялкова, В. З. Кучеренко. – М.: ОАО "Издательство "Медицина", 2006. – 304 с.

Надійшла до редакції 22.10.2015

5. Величко О. М. Групове експертне оцінювання та компетентність експертів / Величко О. М., Коломієць Л. В., Гордієнко Т. Б. та ін. // Монографія. Апрель. – Одеса. – 2015. – 285 с.

Рецензент: Квасніков Володимир Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет.

Л. О. Сулима, Л. В. Коломієць, д.т.н.

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ

В статье представлена методика квалиметричного анализа, благодаря которой обнаружены факторы негативного влияния на качество предоставления медицинских услуг; определены количественные оценки значимости этих факторов и выработаны рекомендации по устранению тех, что наиболее негативно влияют.

Ключевые слова: медицинские услуги, качество, экспертная оценка, квалиметрия, здравоохранение, анкетирование.

L. O. Sulima, L. V. Kolomiets, DSc

QUALITY ASSESSMENT EXPERTS OF HEALTH SERVICES

The article presents a method qualimetric analysis, through which revealed negative factors affecting the quality of medical services; the quantitative assessment of the significance of these factors and made recommendations to address those most adversely affected.

Keywords: medical services, quality, expert evaluation, qualimetry, health, survey.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Аманмурадов Н.	5	Кузнєцова Л. В.	73
Аніскін О.	35	Лимаренко О. М.	29, 47
Афтанюк О. В.	29	Міночкін Д. А.	80
Бондаренко Г. С.	89	Никитенко О. Д.	62
Боряк К. Ф.	29, 73	Никитюк О. А.	66
Братченко Г. Д.	89	Новіков В. В.	66
Васілевський О. М.	62	Новіков В. М.	66
Величко О. М.	12	Оробей В. Ф.	47
Глухова Н. В.	55	Розмариця А. І.	73
Гордієнко Т. Б.	12	Сичов М. І.	17
Дашенко О. Ф.	47	Скачков В. В.	89
Кисельова О. І.	22	Смаглюк Г. Г.	89
Коломієць Л. В.	22, 47, 68, 73, 95	Солдо Божо	35
Копрек Томіслав.....	35	Стариш О. І.	73
Корчевський О. С.	68	Стопакевич А. О.	85
Кравчук С. О.	80	Суліма Л. О.	95

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

АМАНМУРАДОВ
Нурберди Аманмурадович

Надзвичайний і Повноважний Посол Туркменістану в Україні і в Республіці Молдова

АНИСКІН
Олексій

Університет Північ, м. Вараждин, Республіка Хорватія, викладач факультету будівництва

АФТАНЮК
Олег Валентинович

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, старший викладач кафедри соціально-гуманітарної підготовки, кандидат технічних наук

БОНДАРЕНКО
Григорій Серійович

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, студент

БОРЯК
Костянтин Федорович

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, завідувач кафедри метрології та метрологічного забезпечення, доктор технічних наук, доцент

БРАТЧЕНКО
Геннадій Дмитрович

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків, доктор технічних наук, старший науковий співробітник

ВАСІЛЕВСЬКИЙ
Олександр Миколайович

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, професор кафедри метрології та промислової автоматики, завідувач сектору інформаційно-технічного забезпечення та захисту інформації Міністерства освіти і науки України, доктор технічних наук, доцент

ВЕЛИЧКО
Олег Миколайович

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, завідувач кафедри нановимірювань та вимірювальної техніки, доктор технічних наук, професор

ГЛУХОВА
Наталія Вікторівна

ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ, доцент кафедри метрології та інформаційно-вимірювальних технологій, кандидат технічних наук, доцент

ГОРДІЄНКО
Тетяна Богданівна

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, кандидат технічних наук, доцент

ДАЩЕНКО
Олександр Федорович

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, директор Інституту машинобудування ОНПУ, доктор технічних наук, професор

КИСЕЛЬОВА
Ольга Ігорівна

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, завідувач кафедри суспільно-гуманітарної підготовки, кандидат педагогічних наук, доцент

КОЛОМІЄЦЬ
Леонід Володимирович

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса, ректор, доктор технічних наук, професор

КОПРЕК
Томіслав

Університет Північ, м. Вараждин, Республіка Хорватія, асистент факультету будівництва

КОРЧЕВСЬКИЙ
Олександр Сергійович

Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, аспірант

КРАВЧУК
Сергій Олександрович

Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», м. Київ, професор кафедри, доктор технічних наук, доцент

КУЗНЕЦОВА
Любов Вікторівна

Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, старший викладач кафедри метрології та метрологічного забезпечення

ЛИМАРЕНКО
Олександр Михайлович

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, доцент кафедри «Динаміка, міцність машин і опір матеріалів», Інститут машинобудування ОНПУ, кандидат технічних наук, доцент

МІНОЧКІН
Дмитро Анатолійович

Інститут телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «КПІ», м. Київ, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

НИКИТЕНКО
Олена Дмитрівна

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, доцент кафедри комп'ютерних систем управління, кандидат технічних наук

НИКИТЮК
Олександр Андрійович

Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ, доктор сільськогосподарських наук, професор

НОВІКОВ
Володимир Володимирович

Навчально-Консультаційний центр «Євроакадемія», м. Київ, директор, кандидат технічних наук

НОВІКОВ
Володимир Миколайович

ВСП «Інститут підвищення кваліфікації фахівців в галузі технічного регулювання та споживчої політики» Одеської державної академії технічного регулювання та якості, м. Київ, директор, доктор фізико-математичних наук, професор

ОРОБЕЙ
Віктор Федорович

Одеський національний політехнічний університет, завідувач кафедри «Динаміка, міцність машин та опір матеріалів», Інститут машинобудування ОНПУ, м. Одеса, доктор технічних наук, професор

РОЗМАРИЦЯ
Антон Іванович

Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, аспірант

СИЧОВ
Михайло Іванович

Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, доцент кафедри якості та безпеки життя людини, кандидат хімічних наук

СКАЧКОВ
Валерій Вікторович

Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, доктор технічних наук, професор

СМАГЛЮК
Геннадій Геннадійович

Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, аспірант

СОЛДО
Божо

Університет Північ, м. Вараждин, Республіка Хорватія, декан факультету будівництва, доктор технічних наук, професор

СТАРИШ
Олександр Іванович

*Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, старший науковий співробітник*

СТОПАКЕВИЧ
Андрій Олексійович

*Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова, м. Одеса,
доцент кафедри Комп'ютерно-інтегрованих технологічних процесів
і виробництв, кандидат технічних наук*

СУЛІМА
Лідія Олександрівна

*Одеська державна академія технічного регулювання та якості,
м. Одеса, старший науковий співробітник*

Наукове видання

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
ОДЕСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ АКАДЕМІЇ
ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТА ЯКОСТІ**

Випуск 2(7) 2015

Редактор

Братченко Г. Д.

Комп'ютерна верстка

Постоварова В. Д.

Адреса редакції: 65020, м. Одеса, вул. Ковальська 15, ОДАТРА,

Тел.: (048)728-07-11 – довідки;

E-mail: bratchenkohd@gmail.com

*Надруковано з готового оригінал макету
в видавництві – друкарні «ВМВ»*

*Підписано до друку 15.12.2015
Формат 60*88/8. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 13,5
Тираж 300 прим.
65053, м. Одеса, пр-т Добровольського 84-а.
www.vmv.odessa.ua*