

**В НАУЧНОМ РЕЦЕНЗИРУЕМОМ ЖУРНАЛЕ
«ВЕСТНИК СИБАДИ» ПУБЛИКУЮТСЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО НАУЧНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ:**

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

ТРАНСПОРТ

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

**ПРИОРИТЕТ ПРИ ОТБОРЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ
ОТДАЁТСЯ НАУЧНЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ, РЕЗУЛЬТАТЫ КОТОРЫХ ПРИМЕНИМЫ
В УСЛОВИЯХ СИБИРИ И КРАЙНЕГО СЕВЕРА**



СИБАДИ®

ВЕСТНИК СиБАДИ

ISSN 2071-7296



№ 2 (54)/2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный
университет (СибАДИ)»

ВЕСТНИК СИБАДИ

Выпуск 2 (54)

Омск - 2017

Главный редактор **Жигадло А.П.**, д-р пед. наук, канд. техн. наук, доц., ректор ФГБОУ ВО «СибАДИ»
Зам. главного редактора **Корчагин П.А.**, д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе ФГБОУ ВО «СибАДИ»

Редакционная коллегия:

Ваклав Скала, профессор University of West Bohemia, Чехия, г. Пльзень.

Винников Ю.Л., д-р техн. наук, проф. Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка, член Украинского общества механики грунтов, геотехники и фундаментостроения, Российского общества по механике грунтов, геотехники и фундаментостроению, ISSMGE, IGS, действительный член Академии строительства Украины, Украина, г. Полтава.

Горынин Г.Л., д-р физ.-мат. наук, проф., БУ ВО «СурГУ ХМАО-ЮГРЫ», Россия, г. Сургут.

Жусупбеков А.Ж., вице-президент ISSMGE по Азии, Президент Казахстанской геотехнической ассоциации, почетный строитель Республики Казахстан, директор геотехнического института, заведующий кафедрой «Строительства» ЕНУ им Л.Н. Гумилева, член-корреспондент Национальной инженерной академии Республики Казахстан, д-р техн. наук, проф., Казахстан, г. Астана.

Карл – Хейнц Ленц, д-р техн. наук, Германия, г. Бергши-Гладбах.

Карпов В.В., д-р экон. наук, проф., председатель ОНЦ СО РАН, Россия, г. Омск.

Лим Донг Ох, доктор инженерных наук, профессор, президент университета Джунбу, Южная Корея, г. Сеул.

Лис Виктор, канд. техн. наук, инженер-конструктор специальных кранов фирмы Либхерр-верк Биберах ГмбХ, Mittelbiberach, Германия.

Матвеев С.А., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Мочалин С.М., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Немировский Ю.В., д-р физ.-мат., наук, проф., главный научный сотрудник, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, г. Новосибирск.

Подшивалов В.П., д-р техн. наук, проф., Белорусского национального технического университета, Республика Беларусь, г. Минск.

Хмара Л.А., д-р техн. наук, проф., Приднестровской государственной академии Строительства и Архитектуры, заслуженный изобретатель Украины, академик Академии строительства и архитектуры Украины, Украина, г. Днепропетровск.

Щербачев В.С., д-р техн. наук, проф., ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Эдвин Козневский, д-р техн. наук, проф., Польша, г. Белосток.

Editor-in-Chief Zhigadlo A.P., doctor of pedagogical sciences, candidate of technical sciences, associate professor, rector of The Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI)

Deputy editor-in-chief Korchagin P.A., doctor of technical sciences, professor, pro-rector for scientific research of The Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI).

Members of the editorial board:

Vaclav Skala professor Ing. University of West Bohemia, Plzen (Pilsen), Czech Republic.

Vinnikov Y.L., doctor of technical sciences, professor of the Poltava National Technical University named after Yuriy Kondratyuk, a member of the Ukrainian Society of soil mechanics, geotechnics and foundation engineering, the Russian Society for soil mechanics, geotechnics and foundation engineering, ISSMGE, IGS, a member of the Academy of Construction of Ukraine, Ukraine, Poltava.

Gorynin G.L., doctor of physical and mathematical sciences, professor, of the Surgut State University, Surgut.

Zhusupbekov A.Z., Vice – President of ISSMGE in Asia, President of Kazakhstan Geotechnical Association, honorary builder of the Republic of Kazakhstan, director of the Geotechnical Institute, head of the department “Construction” of L.N. Gumilyov Eurasian National University, corresponding member of the National Academy of Engineering of the Republic of Kazakhstan, doctor of technical sciences, professor, Astana, Kazakhstan.

Karl – Heinz Lenz, President and professor a. D., Prof. e. h. mult. Dr-Ing, Bundesanstalt für, Germany.

Karpov V.V., doctor of Economics, professor, the chairman of the Omsk scientific center of The Russian Academy of Sciences' Siberian branch, Omsk.

Lim Dong Okh, doctor of engineering sciences, professor, President of the Goongbu University, Seoul, South Korea.

Lis Victor, candidate of technical sciences, design-engineer of special cranes of Liebherr – Werk Biberach GmbH (Viktor Lis Dr-Ing. (WAK), Liebherr-Werk Biberach GmbH), Mittelbiberach, Germany.

Matveev S.A., doctor of technical sciences, professor of the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI).

Mochalin S.M., doctor of technical sciences, professor of the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI).

Nemirovskiy Y.V., doctor of physical and mathematical sciences, professor, chief research worker of the Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, Novosibirsk.

Podshivalov V.P., doctor of technical sciences, professor of the Belarussian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus.

Khmara L.A., doctor of technical sciences, professor, of the Dnieper State Academy of Construction and Architecture, Honored inventor of Ukraine, an academician of the Academy of Construction and Architecture of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Shcherbakov V.S., doctor of technical sciences, professor, of the Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI).

Edwin Kozniewski, doctor of technical sciences, associate professor, Bialystok University of Technology, Bialystok, Poland.

Адрес издателя: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5. Тел. (3812) 65-23-45.

e-mail: Vestnik_Sibadi@sibadi.org

Учредитель ФГБОУ ВО «СибАДИ».

Адрес учредителя: 644080, г. Омск, просп. Мира. 5.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77- 67314 от 30 сентября 2016 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Научный рецензируемый журнал «Вестник СибАДИ» входит в перечень ведущих периодических изданий рекомендованных ВАК решением президиума ВАК от 25.02.2011 г.; с 01.12.2015 г. включен в новый список в соответствии с требованиями приказа Минобрнауки России от 25 июля 2014 г. № 793. С 2009 года представлен в Научной Электронной Библиотеке eLIBRARY.RU и включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Входит в международный каталог Ulrich's International Periodicals Directory. Подписной индекс 66000 в каталоге агентства "РОСПЕЧАТЬ". Редакционная коллегия осуществляет экспертную оценку, рецензирование и проверку статей на плагиат.

Подписано в печать 24.04.2017 г. Дата выхода в свет 28.04.2017. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Arial

Печать оперативная. Бумага офсетная. Усл. печ. л. _____. Тираж 500 экз. Заказ _____

Отпечатано в типографии ИПК ФГБОУ ВО «СибАДИ» 644080, г. Омск, пр. Мира, 5

Статьи воспроизведены в аутентичной редакции.

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2017

РАЗДЕЛ I. ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Д.С. Алешков, Н.Ю. Аюпова</i> ОБОСНОВАНИЕ ШИРИНЫ ЛЕНТЫ ФРЕЗЫ ПИТАТЕЛЯ ФРЕЗЕРНО-РОТОРНОГО СНЕГООЧИСТИТЕЛЯ	7
<i>Н.С. Галдин</i> ГРУНТОУПЛОТНЯЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ГИДРОУДАРНИКОВ	11
<i>А.И. Демиденко, К.Ю. Гатыч</i> РАСЧЕТ УСИЛИЙ КОПАНИЯ РАБОЧИМ ОБОРУДОВАНИЕМ БУЛЬДОЗЕРА	17
<i>М.С. Корытов, В.С. Щербаков</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗГОНА И ТОРМОЖЕНИЯ ГРУЗА МОСТОВОГО КРАНА В РЕЖИМЕ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ	22
<i>В.В. Михеев, С.В. Савельев</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПЛОТНЕНИЯ УПРУГОВЯЗКОПЛАСТИЧНОЙ ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С РАБОЧИМ ОРГАНОМ ДОРОЖНОЙ МАШИНЫ В РАМКАХ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОДХОДА СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ	28
<i>С.Дж. Тургумбаев, Р.А. Кабашев</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА КОПАНИЯ ГРУНТОВ МОДЕРНИЗИРОВАННЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ ПОД ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ	36
<i>В.Р. Эдигаров, Б.Ш. Алимбаева, П.С. Перков</i> КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНОУЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	42

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

<i>В.В. Акимов, А.И. Громовик, А.Ю. Грязнов</i> СНИЖЕНИЕ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ЭЛЕМЕНТОВ МЕЛЬНИЦ УДАРНО-ИНТЕГРАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТВЕРДЫХ БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ СПЛАВОВ TiC-TiN	48
<i>Ю.В. Баженов, В.П. Каленов</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ	52
<i>Ю.А. Болтенко</i> ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДА ОМСКА	59
<i>С.В. Корнеев, С.В. Пашукевич, А.С. Савоськин, И.И. Ширлин</i> ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОТОРНОГО МАСЛА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ SUMMINS АВТОБУСНОГО ПАРКА Г. ОМСКА	66
<i>С.А. Корнилович</i> ПРИЧИНЫ ИНТЕНСИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ЯМЗ-238НБ	70
<i>В.Е. Овсянников, В.И. Васильев</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	76
<i>Д.А. Тихов-Тинников, В.С. Барадиев, А. В. Быков, В.Г. Власов</i> МОДЕРНИЗАЦИЯ СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САЙЛЕНТБЛОКОВ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЕЙ	79

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

<i>Ю.С. Белова, Л.И. Жукова, Д.А. Кузьмин, Е.В. Тишков</i> К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ ТИПА «МОЛОДЕЧНО»	84
<i>В.Д. Галдина, М.С. Черногородова</i> ПОДБОР СОСТАВОВ АКТИВИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	90

СОДЕРЖАНИЕ

Ю.В. Краснощёков

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСКАЛЫВАНИЯ БЕТОНА В ЗОНЕ АНКЕРОВКИ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ	98
--	----

В. Н. Кузнецова, М. В. Орёл

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВЫПУЧИВАНИЯ ВИНТОВЫХ СВАЙ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ НА МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ.....	107
--	-----

М.В. Мосин

ОЦЕНКА ЭФФЕКТА И ЭФФЕКТИВНОСТИ УСИЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ УГОЛКОВЫМИ ОБОЙМАМИ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОБЖАТИЯ	112
---	-----

О.М. Русанова

СРАВНЕНИЕ НАТУРНЫХ ДАННЫХ ПО ОБСЛЕДОВАНИЮ ДРЕНАЖА ЗАСТРОЙКИ С АНАЛИТИЧЕСКИМИ РАСЧЕТАМИ НА ПРИМЕРЕ СТРОЯЩЕГОСЯ МИКРОРАЙОНА В ГОРОДЕ ОМСКЕ.....	119
---	-----

В.И. Сологеев

О МОДЕЛИРОВАНИИ НАПОРНО-БЕЗНАПОРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ В ГОРОДСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	124
--	-----

РАЗДЕЛ IV. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

И.Г. Бавсун

ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ..	129
---	-----

С.О. Баранов, Д.Б. Абрамов

ТЕХНОЛОГИЯ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО ВЕНОЗНОМУ РИСУНКУ КИСТЕЙ РУК	134
--	-----

С. В. БИРЮКОВ, А.В. ТЮКИН

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ТРЕХКООРДИНАТНЫХ ДАТЧИКОВ ВЕКТОРНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН УПРАВЛЯЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	139
--	-----

С. В. Лейхтер

ПОСТРОЕНИЕ МЕТАМОРФИЗМОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА-ПУАНКАРЕ	144
--	-----

РАЗДЕЛ V. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.В. Бирюков, Е.В. Романенко

КУЛЬТУРА И ИНСТИТУТЫ В ЭВОЛЮЦИОННОЙ ЭКОНОМИКЕ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ.....	151
---	-----

А.А.Грахов

КРАУДФАНДИНГ: ПОТЕНЦИАЛ И РИСКИ ВНЕДРЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ РЫНКА В УСЛОВИЯХ КОНТУРОВ МИРОВОГО ФИНАНСОВОГО КРИЗИСА....	158
--	-----

С.С. Каирденов, О.Ю. Патласов

ЕМКОСТЬ РЫНКА ИСЛАМСКОГО БАНКИНГА	166
---	-----

К.П. Крылова, Е.Е. Витвицкий

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ НА ЗАТРАТЫ ПО АРЕНДЕ ГРУППЫ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ГОРОДАХ.....	175
--	-----

М. С. Мизя, В. Ф. Потуданская

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	181
--	-----

PART I. TRANSPORT, MINING AND MECHANICAL ENGINEERING

D. S. Aleshkov, N. Y. Ayupova

JUSTIFICATION OF WIDTH OF THE TAPE OF THE MILL OF THE FEEDER MILLING-ROTORY SNOW BLOWER	7
---	---

N.S. Galdin

GROUND SEALING EQUIPMENT ON THE BASIS OF HYDRAULIC IMPACT DEVICES	11
---	----

A.I. Demidenko, K. Yu. Gatysh

CALCULATION OF EFFORTS OF DIGGING BY THE WORKING EQUIPMENT OF THE BULLDOZER	17
--	----

M.S. Korytov, V.S. Scherbakov

USE OF SINUSOIDAL FUNCTION FOR MODELING OF RAISING AND BRAKING OF THE SHIP OF BRIDGE CRANE IN THE MODE OF GAUGE OF VIBRATIONS	22
---	----

V.V. Mikheyev, S.V. Saveliev

MODELING OF PROPERTIES OF DEFORMABLE SOIL MEDIA DURING COMPACTION BY CYLINDRICAL ROLLER DRUMS MATHEMATICAL MODELING OF COMPACTION FOR ELASTOVISCOPLASTIC SOIL MEDIA CAUSED BY THE INTERACTION WITH WORK TOOL OF COMPACTING MACHINE IN THE FRAMEWORK OF MODIFIED APPROACH OF LUMPED PARAMETERS	28
---	----

S.Zh. Turgumbaev, R. A. Kabashev

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESS OF SOIL DIGGING BY MODERNIZED WORKING BLADES UNDER HYDROSTATIC PRESSURE	36
---	----

Vyacheslav R. Edigarov, Botagoz Sh. Alimbaeva, P S. Perkov

COMBINED ELECTROMECHANOUltrasonic PROCESSING OF SURFACE COATING OF MACHINERY	42
--	----

PART II. TRANSPORT

V.V. Akimov, A.I. Gromovik, A.Yu. Grjaznov

DECREASE IN ABRASIVE WEAR OF ELEMENTS OF MILLS OF SHOCK AND INTEGRATED ACTION WITH USE OF SOLID BEZVOLFRAMOVY TIC-TINI ALLOYS	48
---	----

Y.V. Bazhenov, V.P. Kalenov

THE FORECASTING OF THE RESIDUAL RESOURCE OF ELECTRONIC ENGINE CONTROL SYSTEM	52
--	----

Ju. A. Boltenko

PROBLEMS AND PROSPECTS OF PUBLIC TRANSPORT IN THE CITY OF OMSK	59
--	----

S. V. Korneev, S. V. Pashkevich, A. S. Savos'kin, I. I. Shirlin

CHANGING THE CHARACTERISTICS OF THE ENGINE OIL DURING OPERATION OF THE CUMMINS ENGINE BUS FLEET OF THE CITY OF OMSK	66
---	----

S. A. Kornilovich

THE REASONS OF INTENSIVE WEAR OF CYLINDERS OF YAMZ ENGINES – 238NB	70
--	----

V. E. Ovsyannikov, V. I. Vasilyev

MODELLING OF ACTIVITY OF OPERATORS OF THE DIAGNOSTIC EQUIPMENT OF THE MOTOR TRANSPORTATION ENTERPRISES	76
--	----

D.A. Tihov-Tinnikov, V.S. Baradiev, A.V. Bykov, V.G. Vlasov

MODERNIZATION OF THE STAND FOR DETERMINING THE FORCE CHARACTERISTICS OF THE SUSPENSION BUSHES SUSPENSION VEHICLES	79
---	----

PART III. CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Yu.S. Belova, L.S. Zhukova, D.A. Kuzmin, E.V. Tishkov

BY THE IMPACT OF RUST ON THE BEARING CAPACITY OF TRUSSED RAFTERS TYPE "MOLODECHNO"	84
--	----

V.D. Galdina, M.S. Chernogorodova

SELECTION OF STRUCTURES OF THE ACTIVATED MINERAL POWDERS WITH USE OF A METHOD OF PLANNING OF EXPERIMENT	90
---	----

Yu.V. Krasnoshchekov

CLEAVING MODELING OF CONCRETE IN THE ZONE ANCHORING FREE OF TENSION FITTING	98
--	----

CONTENTS

V. N. Kuznetsova, M. V. Oryol

FEATURES OF CALCULATION OF UNEVEN SWELLING SCREW PILES OF OIL AND GAS PIPELINES IN FROZEN GROUND	107
---	------------

M.V. Mosin

EVALUATION OF THE EFFECT AND THE EFFICIENCY GAIN ANGLED METAL COLLARS STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH COMPRESSION	112
--	------------

O.M. Rusanova

COMPARISON OF DATA ON NATURAL DRAINAGE CONSTRUCTION SURVEY WITH THE EXAMPLE ANALYTICAL CALCULATIONS NEWLY BUILT NEIGHBORHOOD IN THE CITY OF OMSK	119
---	------------

V.I. Sologaev

ABOUT MODELING OF PRESSURE-FREE PRESSURE FILTRATION OF WATER IN URBAN CONSTRUCTION	124
---	------------

PART IV. COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

I.G. Bavsun

PROBLEMS OF REALIZATION OF INFORMATIONAL AND ANALYTICAL FUNCTIONS OF MANAGEMENT	129
--	------------

S.O. Baranov, D.B. Abramov

PALM VEIN PATTERN BIOMETRIC AUTHENTICATION TECHNOLOGY	134
--	------------

S.V. Biryukov, A.V. Tyukin

TOOL ERRORS OF THREE-COORDINATE SENSORS OF VECTOR PHYSICAL QUANTITIES OF THE OPERATING INFORMATION SYSTEMS	139
---	------------

S. V. Leichter

CONSTRUCTING METAMORPHOSIS OF IMAGES FOR THE OBJECTS ON THE BASIS OF SOLVING EULER-POINCARÉ EQUATIONS	144
--	------------

PART V. ECONOMICS

V.V. Biryukov, E.V. Romanenko

CULTURE AND INSTITUTIONS INTO EVOLUTIONAL ECONOMICS: CONCEPTUAL APPROACH TO THE ANALYSIS	151
---	------------

A. A. Grahov

CROWDFUNDING: THE POTENTIAL AND RISKS OF IMPLEMENTING ALTERNATIVE FUNDING MARKET IN THE CONTEXT OF THE CONTOURS OF THE GLOBAL FINANCIAL CRISIS	158
---	------------

S. Kairdenov, O. Patlasov

CAPACITY OF THE ISLAMIC BANKING MARKET	166
---	------------

K.P. Krylova, E.E. Vitvitskiy

INFLUENCE OF TRANSPORTATION DISTANCE ON THE COST OF RENTAL GROUP VEHICLES IN THE CITY	175
--	------------

M. S. Mizya, V. F. Potudanskaya

MODERN TRENDS OF LABOUR ORGANIZATION DEVELOPMENT ON INDUSTRIAL ENTERPRISES	181
---	------------

РАЗДЕЛ I. ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 625.76

ОБОСНОВАНИЕ ШИРИНЫ ЛЕНТЫ ФРЕЗЫ ПИТАТЕЛЯ ФРЕЗЕРНО-РОТОРНОГО СНЕГООЧИСТИТЕЛЯ

Д.С. Алешков, Н.Ю. Аюпова

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В статье рассматривается вопрос влияния количества заходов фрезы питателя фрезерно-роторного снегоочистителя на объем вырезаемой призмы снега. Также было получено уравнение определения зависимости ширины ленты фрезы от угла поворота фрезы. Представлены результаты вычислений изменения ширины ленты фрезы и изменение транспортируемого объема снежной призмы на графиках. Представлены изображения фрез с шириной ленты, обеспечивающей соответствие высоте фигуры, ограничивающей вырезанный объем снежной массы.

Ключевые слова: фрезерно-роторный снегоочиститель, фреза, снежная призма, ширина ленты фрезы.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка эффективности работы фрезерно-роторного снегоочистителя во многом зависит от работы фрезы. Одним из показателей работы фрезы может служить объем снежной призмы, вырезаемой фрезой питателя.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ШИРИНЫ ЛЕНТЫ ФРЕЗЫ ОТ УГЛА ЕЕ ПОВОРОТА

В работах [1,2] в явном виде количество снежной массы, транспортируемой фрезой, не фигурирует, оно учитывается косвенно, при определении энергоемкости через техническую производительность фрезерно-роторного снегоочистителя.

В работе [3] был получен объем призмы волочения, вырезаемый фрезой

$$W_n = \pi v^2 R / \left(4 \cdot f_{mp} \cos \theta \right), \quad (1)$$

где f_{mp} – угол внутреннего трения снега, θ –

угол захода ленты фрезы, v – ширина ленты фрезы, R – радиус фрезы.

Данная зависимость не учитывает кинематические характеристики питателя и снегоочистителя в целом.

Соответственно, представляется актуальным знание, от каких параметров снегоочистителя зависит объем вырезаемой снежной призмы и характер этого влияния.

Тройной интеграл интерпретируется как объем [4]. Определим объем, вырезаемый фрезой из снежного массива. Для этого составим тройной интеграл.

$$W = \int_0^h \cdot \int_0^C \cdot \int_0^A dx dy dz.$$

Пределами интегрирования являются:

– по оси OZ: высота снежного покрова; нижняя граница, 0; верхняя граница, h ; (см. рис. 1).

– по оси OX: ширина вырезаемой снежной стружки, которая определяется числом заходов фрезы, кинематическими параметрами снегоочистителя и питателя. Нижний предел интегрирования, равен 0; верхний предел

$A = 2\pi \frac{V_{пер}}{n \cdot \omega}$ для всех заходов фрезы при повороте ее на угол 360° , ω – угловая скорость вращения фрезы, $V_{пер}$ – поступательная скорость снегоочистителя, n – число заходов фрезы.

– по оси ОУ, пределы интегрирования также зависят от кинематических параметров снегоочистителя и питателя. Связь между шириной вырезаемой снежной стружки, и шириной захвата фрезы питателя при постоянном угле захода фрезы может быть представлена соотношением (при произвольном угле поворота):

$$C = R \cdot \varphi \cdot \frac{1}{n} \cdot \operatorname{tg} \theta,$$

где φ – угол поворота фрезы.

В результате интегрирования объем, вырезаемый фрезой, будет иметь вид:

$$W = \frac{2\pi}{n^2} \cdot \frac{\varphi}{\omega} \cdot h V_{пер} R \operatorname{tg} \theta. \quad (2)$$

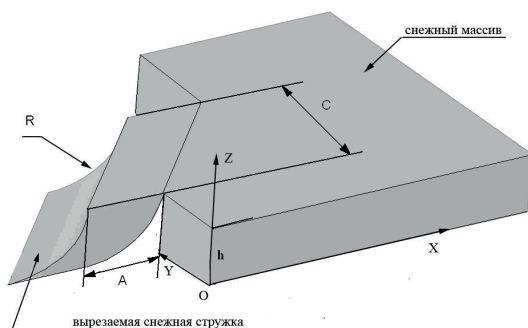


Рисунок 1 – Вид снежной стружки, вырезаемой фрезой питателя из снежного массива

Выражение объема (2) вырезаемой фрезой питателя снежной массы может быть интерпретировано как объем, заполняющий пространство в питателе фрезерно-роторного снегоочистителя (см. рис. 2). Из рассмотрения траектории движения фрезы в процессе ее взаимодействия со снежным массивом [3, 5] становится очевидным, что вырезанная снежная масса, в идеальном случае, должна заполнять свободное пространство внутри питателя, которое представляет собой цилиндр, ограниченный лентой фрезы в пределах одного шага (см. рис. 2). При этом вся масса снега межлопастного пространства будет двигаться к загрузочному окну.

Для случая постоянного угла захода ленты фрезы расстояние между участками фрезы в пределах шага $T_{ш}$ будет одинаково и равно

$$T_{ш} = 2\pi \frac{R \cdot \operatorname{tg} \theta}{n}. \quad (3)$$

Соответственно объем W_B , заполняемый вырезанной снежной массой, будет равен

$$W_B = T_{ш} \cdot S, \quad (4)$$

где S – площадь, заполненная снежной массой, в сечении, нормальном к поверхности отвала питателя (см. рис. 2);

Площадь сечения, которую можно представить в виде сегмента, определяется по известному соотношению [5]:

$$S = \frac{R^2}{2} \left(2 \arccos \frac{(R-b)}{R} - \sin \left(2 \arccos \frac{(R-b)}{R} \right) \right), \quad (5)$$

где b – ширина ленты фрезы, теоретически она совпадает с толщиной транспортируемой призмы снега, согласно принятому выше допущению.

Соответственно объем равен

$$W_B = \frac{\pi}{n} \cdot R^3 \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot$$

$$\left(2 \arccos \frac{(R-b)}{R} - \sin \left(2 \arccos \frac{(R-b)}{R} \right) \right). \quad (6)$$

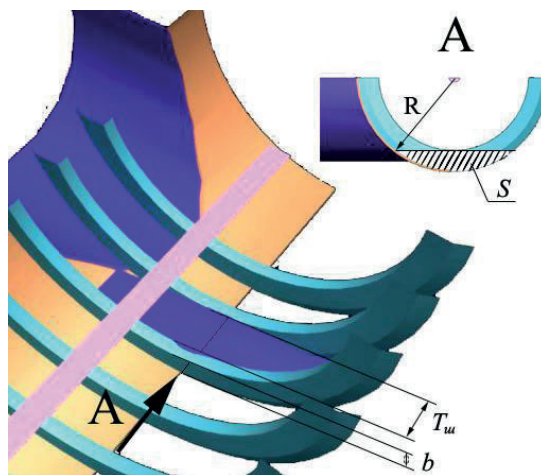


Рисунок 2 – Схема транспортирования снежной призмы

Используя данную формулу и выражение объема вырезаемой снежной массы (2), представляется возможным выразить ширину ленты фрезы, обеспечивающей полный контакт участка ленты фрезы со всей вырезаемой снежной массой, что соответствует высоте призмы снега, транспортируемой между участками фрезы:

$$W_B = W \quad (7)$$

или

$$2 \arccos \frac{R-b}{R} - \sin \left(2 \arccos \frac{(R-b)}{R} \right) = \frac{2}{n} \cdot \frac{\varphi}{\omega \cdot R^2} h V_{\text{пер}} \quad (8)$$

Получено уравнение, из которого определяется зависимость ширины ленты фрезы от угла поворота фрезы.

Рассмотрим, как изменяется ширина фрезы и объем вырезаемой снежной призмы за один цикл перемещения снега от края питателя к загрузочному окну. В качестве исходных данных были приняты следующие параметры: $R = 0,2 \text{ м}$; $h = 0,1 \text{ м}$; $\omega = 8 \text{ рад/с}$; $V_{\text{пер}} = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$; $\theta = 19^\circ$.

Представленные значения характерны для самоходных фрезерно-роторных снегоочистителей, в которых длина фрезы соответствует одному шагу винтовой линии и количеству заходов фрезы равному двум.

Данное уравнение в явном виде не имеет решения, поэтому расчет велся на ЭВМ методом половинного деления [6, 7].

На рис. 3 представлены результаты вычислений.

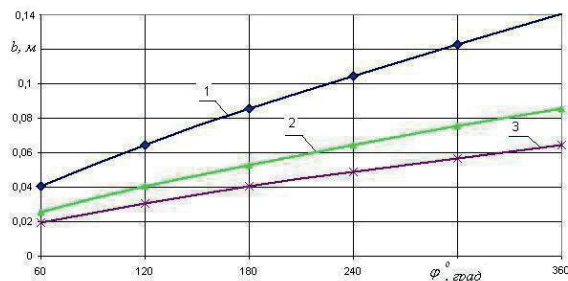


Рисунок 3 – Изменение ширины ленты фрезы для однозаходной, двухзаходной и трехзаходной фрез, где 1 – ширина ленты однозаходной фрезы, м; 2 – ширина ленты двухзаходной фрезы, м; 3 – ширина ленты трехзаходной фрезы, м

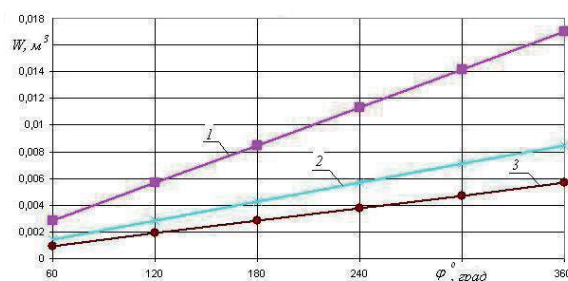


Рисунок 4 – Изменение транспортируемого объема снежной призмы для однозаходной, двухзаходной и трехзаходной фрез, где 1 – объем снежной призмы, вырезаемый однозаходной фрезой, м³; 2 – объем снежной призмы, вырезаемый одним заходом двухзаходной фрезы, м³; 3 – объем снежной призмы, вырезаемой одним заходом трехзаходной фрезы, м³

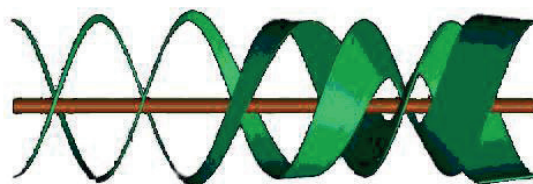


Рисунок 5 – Общий вид двухзаходной фрезы с переменной шириной ленты питателя

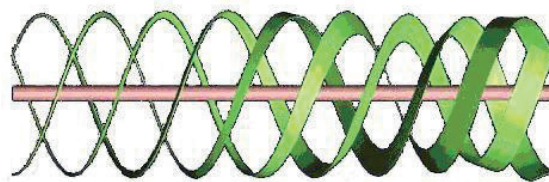


Рисунок 6 – Общий вид трехзаходной фрезы с переменной шириной ленты питателя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате решения были получены: ширина ленты фрезы на каждом шаге и вырезаемый объем снежной призмы (см. рис. 3, 4).

Анализ решения уравнения (8) показал, что вырезаемый объем снега возрастает почти линейно, при перемещении призмы от края фрезы питателя к загрузочному окну метательного аппарата. При этом изменение ширины ленты фрезы носит нелинейный характер (см. рис. 3). Увеличение числа заходов фрезы позволяет обеспечить более медленный рост ширины

(см. рис. 3) и, как следствие, менее интенсивный рост нагрузки на элементы фрезы питателя.

Таким образом, при заданных геометрических характеристиках питателя фрезерно-роторного снегоочистителя – радиусе фрезы и кинематических характеристиках; поступательной скорости фрезерно-роторного снегоочистителя и угловой скорости вращения фрезы – представляется возможным определить профиль ленты фрезы, обеспечивающий транспортирование всей вырезаемой снежной массы при определенной высоте снежного покрова (см. рис. 5, 6). Это в свою очередь, обеспечивает полное заполнение межлопастного пространства метательного аппарата фрезерно-роторного снегоочистителя [8].

На рис. 5, 6 представлены визуализации фрез с шириной ленты фрезы, обеспечивающей соответствие высоте фигуры, ограничивающей вырезанный объем снежной массы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Киреев, В. И. Численные методы в примерах и задачах : учеб. пособие / В. И. Киреев, А. В. Пантелеев. – М. : Высшая школа, 2004. – 480 с. : ил.

2. Шуп, Т. Е. Прикладные численные методы в физике и технике: пер. с англ. / Т. Е. Шуп. – М. : Высшая школа, 1990. – 255 с. : ил., табл.

3. Иванов А.И., Мишин В.А. Снегоочистители отбрасывающего действия. – М.: Машиностроение, 1981. – 159 с.: ил.

4. Пискунов, Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления : учеб. для вузов в 2-х т. Т. 1: – М.: Интеграл-Пресс, 2006. – 2006. – 415 с.: рис., табл.

5. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы : пер. с англ. / Г. Корн, Т. Корн ; под ред. И.Г. Арамановича. – М. : Наука, 1973. – 832 с.

6. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог : учебное пособие для вузов / В. И.Баловнев и др. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. ; Омск : Омский дом печати, 2005. – 768 с. : ил.

7. Шалман, Д. А. Снегоочистители / Д. А. Шалман. – 2-е изд., перераб. – Л. : Машиностроение, 1973. – 216 с. : ил.

8. Алешков, Д.С. Влияние основных параметров фрезерно-роторного снегоочистителя на вырезаемый объем снежной стружки / Н.Ю. Урусова // Вестник СиБАДИ, 2013. – № 5(33). – С. 10-14.

JUSTIFICATION OF WIDTH OF THE TAPE OF THE MILL OF THE FEEDER MILLING-ROTORY SNOW BLOWER

D. S. Aleshkov, N. Y. Ayupova

Abstract. In article the question of influence of number of calling of a mill of a feeder of a milling-rotary snow blower on volume of the cut-out snow prism is considered. Also the equation of definition of dependence of width of a tape of a mill on a mill angle of rotation has been received. Results of calculations of change of width of a tape of a mill and change of the transported volume of a snow prism on schedules are presented. Images of mills with a width of the tape providing compliance to height of the figure limiting the cut-out volume of snow weight are submitted.

Keywords: milling-rotary snow blower, mill, snow prism, width of a tape of a mill.

REFERENCES

1.Kireev, V. I. Chislennyye metody v primerah i zadachah : ucheb. posobie / V. I. Kireev, A. V. Panteleev. – M. : Vysshaya shkola, 2004. – 480 s. : il.

2. SHup, T. E. Prikladnye chislennyye metody v fizike i tekhnike: per. s angl. / T. E. SHup. – M. : Vysshaya shkola, 1990. – 255 s. : il., tabl.

3. Ivanov A.I., Mishin V.A. Snegoochistiteli otbrasyvayushchego dejstviya. – M.: Mashinostroyeniye, 1981. – 159 s.: il.

4. Piskunov N. S. Differentsial'noye i integral'noye ischisleniya : ucheb. dlya vtuzov v 2-h t. T. 1: – M.: Integral-Press, 2006. – 2006. – 415 s.: ris., tabl.

5. Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov. Opredeleniya, teoremy, formuly : per. s angl. / G. Korn, T. Korn ; Pod red. I.G. Aramanovicha. – M. : Nauka, 1973. – 832 s.

6. Mashiny dlya soderzhaniya i remonta gorodskikh i avtomobil'nykh dorog : uchebnoye posobie dlya vuzov / V. I.Balovnev i dr. – 2-e izd., dop. i pererab. – M. ; Omsk : Omskiy dom pechaty, 2005. – 768 s. : il.

- Аюпова Наталья Юрьевна (Россия, Омск) – учебный мастер кафедры «Технос-

Ayupova Natalya Yuryevna (Russian Federation, Omsk) – educational master of the Technosphere safety department of The Siberian State Automobile and Highway University (SibADi) (644080, Mira, 5 prospect, Omsk, Russian Federation, e-mail: urusova_n@mail.ru).

ГРУНТОУПЛОТНЯЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ГИДРОУДАРНИКОВ

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Ключевые слова: уплотнение грунта, трамбование, гидроударный рабочий орган.

Трамбование – эффективный способ уплотнения грунтов [5, 11, 13]. При трамбовании грунт уплотняется за счет энергии удара рабочего органа. Трамбование – универсальный способ уплотнения грунтов, потому что он пригоден для уплотнения как связных, так и несвязных

Трамбующие машины со свободно падающими плитами отличаются высокой металлоемкостью, большими габаритами, низкой ма-

РАЗДЕЛ I. ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

невренностью, а также тем, что рабочий орган в этих машинах не обеспечивает возможность уплотнения грунтов в значительном удалении от базовой машины. Поэтому эти машины находят ограниченное применение при уплотнении грунтов в стесненных условиях.

Наибольшее же применение для уплотнения грунта в стесненных условиях получает сменное уплотняющее оборудование к базовым машинам – гидравлическим экскаваторам, малогабаритным тракторам, кранам.

Трамбующие машины с рабочим органом двойного действия разделяются по виду привода на дизельные, электрические, электромагнитные, гидравлические, пневматические, механические, взрывного действия и комбинированные.

В современных условиях для интенсификации производственных процессов в различных отраслях промышленности широко используются гидравлические ударные устройства, под которыми понимается механизм, в котором энергия жидкости генерируется в импульсы силы определенной частоты и интенсивности, воздействующие на некоторую обрабатываемую среду. Наибольшее применение они находят в качестве активных рабочих органов дорожно-строительных, горных и других машин [1 – 6, 14]. Энергетические показатели (энергия, мощность единичного удара) гидропневматических ударных устройств зависят от скорости бойка и таких его конструктивных параметров, как масса, величина хода бойка, давление зарядки газа пневмоаккумулятора [4 – 6, 14].

Грунтоуплотняющие машины с гидроударными рабочими органами на базе трактора (рис. 1) предназначены для уплотнения грунта трамбованием [5].

Перспективным навесным грунтоуплотняющим оборудованием к экскаваторам являются гидротрамбовки (рис. 2) на основе гидравлических ударных устройств [5]. Гидротрамбовка является сменным рабочим оборудованием экскаватора и навешивается на него вместо ковша.

Важным преимуществом гидроударного оборудования является универсальность, широкая область применения для выполнения различных видов работ.

Эффективная работа грунтоуплотняющих машин возможна лишь в том случае, если при их создании учтены физико-механические свойства грунтов. Анализ исследований уплотнения грунта трамбованием показал, что наибольшее распространение для расчета

параметров трамбующих рабочих органов получила теория удельных импульсов профессора Н.Я. Хархуты, которая подтверждается результатами многочисленных исследований и практическим опытом [13].

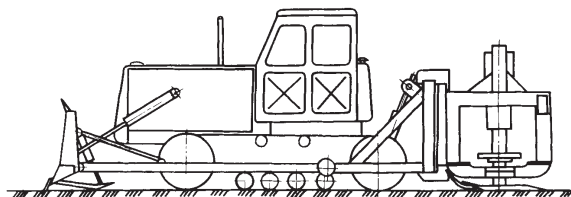


Рисунок 1 – Грунтоуплотняющая машина с гидроударниками на базе трактора

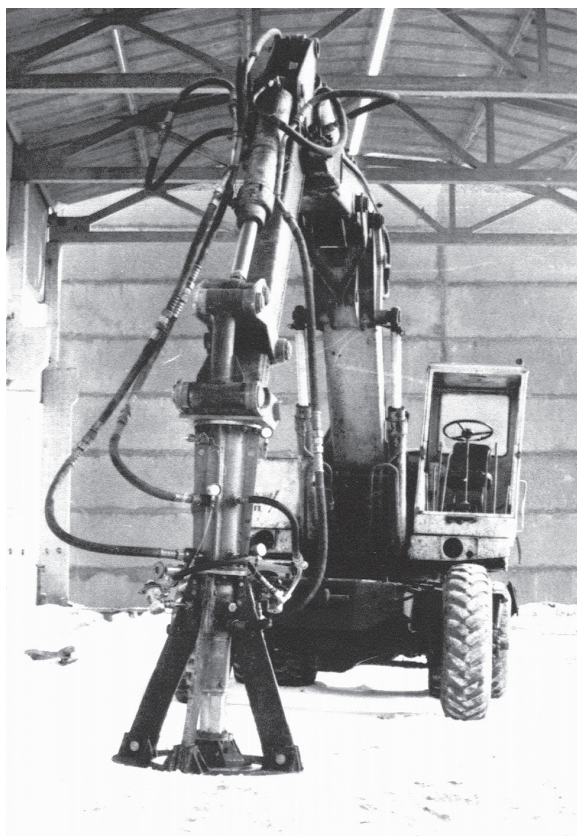


Рисунок 2 – Экскаватор ЭО-3322 с гидротрамбовкой

Выбор основных параметров трамбующего рабочего органа сводится к определению массы подвижных частей, общей массы трамбующего рабочего органа, скорости в момент удара, требуемой энергии удара, а также размеров трамбующей плиты. Указанные параметры должны обеспечить получение требуемой плотности в слое грунта заданной толщины. При этом необходимо стремиться к тому, что-

бы достижение требуемой плотности происходило при минимальном числе ударов. Это условие обеспечивается выбором удельного импульса удара, близким к предельному, а контактного напряжения на поверхности грунта, близким к пределу прочности грунта [13].

Теория импульсов Н.Я. Хархуты [13] основана на использовании уравнения количества движения с оценкой эффективности уплотняющего воздействия трамбующего рабочего органа на грунт по величине удельного импульса удара. Явление удара описывается известным выражением

$$\int_0^{\tau} P dt = m \cdot (V_1 - V_2), \quad (1)$$

где τ – время удара; P – сила, развиваемая в процессе удара; m – масса рабочего органа; V_1 – скорость рабочего органа в начале удара; V_2 – скорость рабочего органа в конце удара (принимается равной нулю).

Толщину уплотняемого слоя грунта следует выбирать равной глубине активной зоны, где в процессе уплотнения деформация грунта по глубине распределяется равномерно. В активной зоне реализуется 80...90 % всей необратимой деформации грунта.

Для данного вида грунта глубина активной зоны зависит от геометрических размеров трамбующей плиты (главный фактор), контактного напряжения, скорости изменения напряженного состояния, влажности грунта. Профессор Н.Я.Хархута дает формулу для определения глубины активной зоны h_0 [13]:

$$h_0 = \alpha \cdot B_{min} \frac{W}{W_0} \left(1 - e^{-3,7 \frac{\sigma_0}{\sigma_p}} \right), \quad (2)$$

где α – коэффициент, зависящий от скорости изменения напряженного состояния, $\alpha = 1,1$ – для связных грунтов, $\alpha = 1,3$ – для несвязных грунтов; W – влажность уплотняемого грунта; W_0 – оптимальная влажность уплотняемого грунта; e – число Эйлера; B_{min} – минимальный поперечный размер поверхности контакта трамбующей плиты с уплотняемым грунтом, м; σ_0 – величина контактного напряжения рабочего органа с грунтом, МПа; σ_p – предел прочности грунта, МПа.

Зависимость глубины активной зоны от минимального поперечного размера трамбующей плиты B_{min} и отношения σ_0/σ_p представлена на рис. 3.

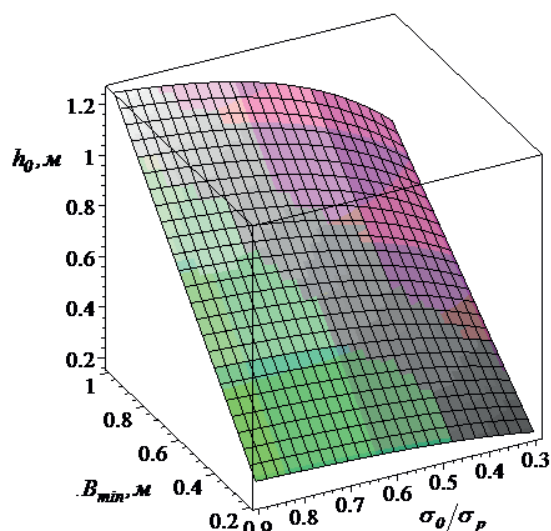


Рисунок 3 – Зависимость глубины активной зоны h_0 от размера трамбующей плиты B_{min} и отношения σ_0/σ_p

В процессе удара трамбующей плиты о грунт кинетическая энергия движущихся масс расходуется на совершение упругих и пластических деформаций и преобразуется в другие виды энергии.

Профессором В.Н.Тарасовым было предложено применять общие теоремы динамики к процессу ударного уплотнения грунтов [8, 9, 12].

Рассмотрим процесс ударного уплотнения грунта с позиции теоретической механики как соударение двух тел (трамбующей плиты с уплотняемым грунтом). При неупругом соударении трамбующей плиты с уплотняемым грунтом они обмениваются энергией и импульсом [8, 9].

Процесс ударного уплотнения грунта состоит из двух этапов. Первый этап – ударные взаимодействия масс между собой, в котором отсутствует их относительное перемещение, и второй этап – послеударные перемещения масс в толще грунта.

Рассмотрим первый этап рабочего процесса. Пусть m_1 – масса ударной части (трамбующей плиты), которая имеет скорость V_1 в момент соприкосновения с массой m_2 . Величину массы m_2 будем считать равной сумме масс всех элементов, расположенных между трамбующей плитой и уплотняемым грунтом. Вследствие невозможности свободного отскока массы m_1 в гидравлическом механизме считаем удар абсолютно неупругим, для которого коэффициент восстановления $K = 0$. Тог-

да скорость уплотняющего органа после первого этапа рабочего процесса определяется из выражения

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) U_1 \quad (3)$$

Откуда найдем скорость U_1 :

$$U_1 = V_1 \frac{m_1}{m_1 + m_2}, \quad (4)$$

т.к. скорость второго тела перед ударом $V_2=0$.

В результате первого этапа рабочего процесса рабочий орган приобретает скорость U_1 и запас кинетической энергии, которая расходуется на совершение упругих и пластических деформаций в грунте.

Средняя динамическая составляющая удельного импульса удара под трамбующей плитой на поверхности грунта определяется выражением [8, 9]:

$$\sigma_{дин} = \frac{(m_1 + m_2) U_1}{\tau S}, \quad (5)$$

где τ – время деформации грунта при ударе; S – площадь контактной поверхности трамбующей плиты;

Значения $\sigma_{дин}$ приведены на рис. 4.

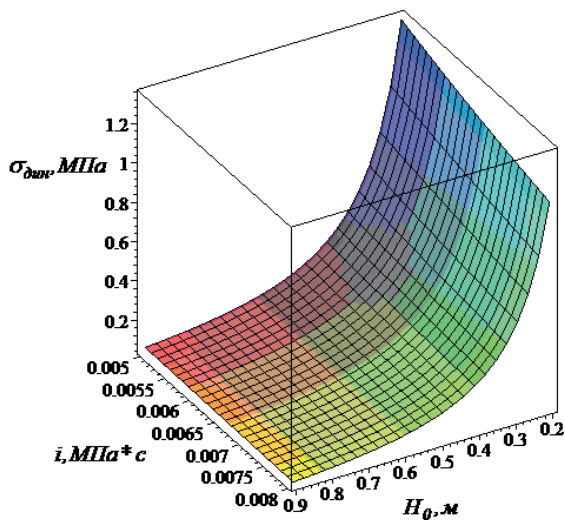


Рисунок 4 – Зависимость динамических напряжений $\sigma_{дин}$ на поверхности грунта от удельного ударного импульса и толщины уплотняемого слоя грунта ($m_1 = 100$ кг, $V_1 = 5$ м/с, $\alpha = 1,3$ – для несвязных грунтов)

Геометрические размеры трамбующей плиты при оптимальных влажностях грунтов выбираются из условия [13]:

$$B_{min} \geq \frac{H_0}{\alpha \left(1 - e^{-\frac{3,7 \sigma_0}{\sigma_p}} \right)}, \quad (6)$$

где H_0 – толщина уплотняемого слоя грунта.

Площадь контактной поверхности трамбующей плиты с грунтом равна $S = \pi B^2 / 4$ для круглой плиты и $S = B^2$ для квадратной плиты.

Значения размеров трамбующей плиты B_{min} , вычисленные по уравнению (6), приведены на рис. 5, 6.

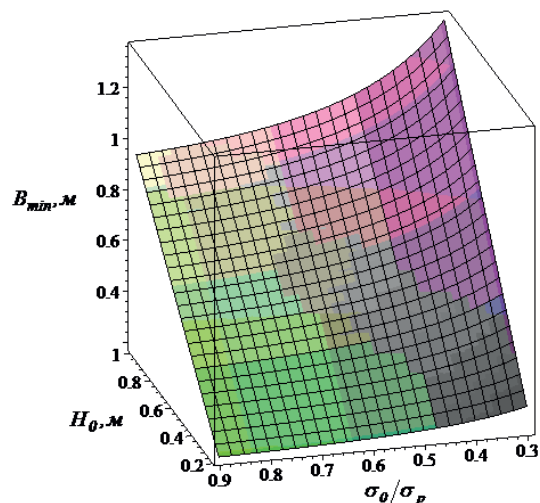


Рисунок 5 – Зависимость поперечного размера трамбующей плиты B_{min} от толщины уплотняемого слоя грунта H_0 и отношения σ_0/σ_p (при $\alpha = 1,1$ – для связных грунтов)

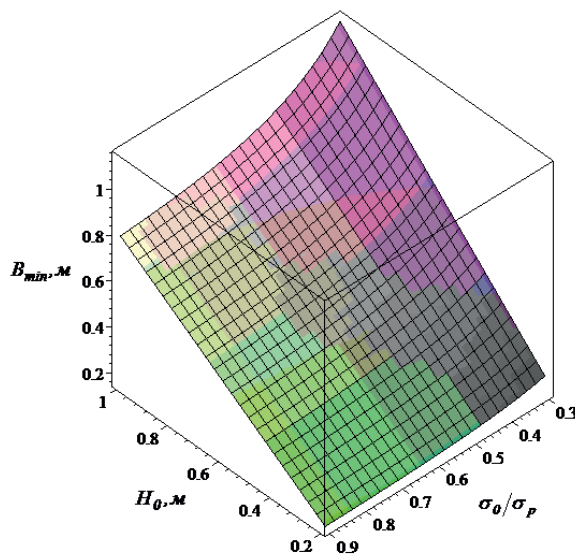


Рисунок 6 – Зависимость поперечного размера трамбующей плиты B_{min} от толщины уплотняемого слоя грунта H_0 и отношения σ_0/σ_p (при $\alpha = 1,3$ – для несвязных грунтов)

На рис. 7 представлены зависимости массы подвижных частей трамбующего оборудования от толщины уплотняемого слоя грунта и контактных напряжений на поверхности грунта. На рис. 8 представлены зависимости требуемой энергии удара от толщины уплотняемого слоя грунта и контактных напряжений на поверхности грунта.

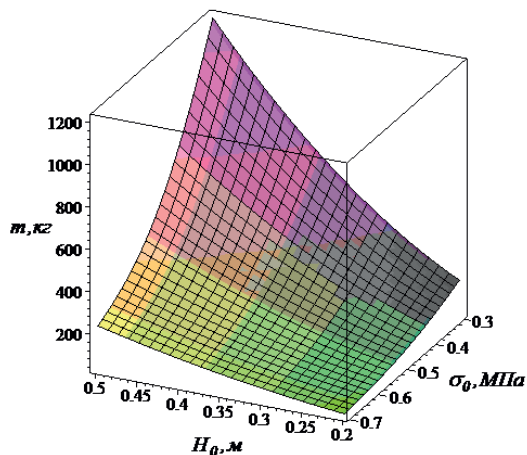


Рисунок 7 – Зависимость массы подвижных частей от толщины уплотняемого слоя грунта и контактных напряжений на поверхности грунта для супесей

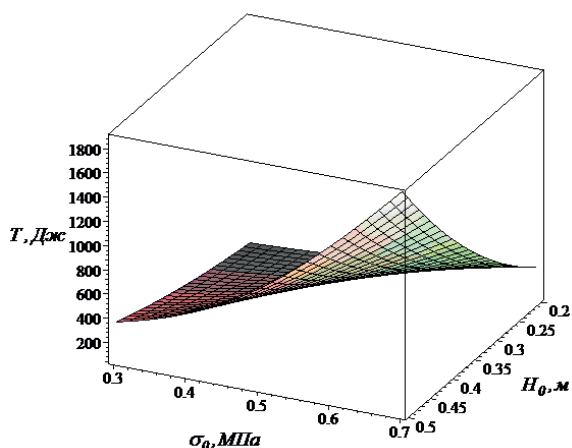


Рисунок 8 – Зависимость энергии удара от толщины уплотняемого слоя грунта и контактных напряжений на поверхности грунта для супесей

ВЫВОДЫ

Гидроударный трамбующий рабочий орган должен обеспечивать возможность регулирования скорости удара, массы подвижных частей, энергии удара в зависимости от толщи-

ны уплотняемого слоя и вида грунта.

Повышение толщины уплотняемого слоя грунта, как это следует из формулы (6), влечет за собой увеличение геометрических размеров трамбующей плиты, что (при сохранении одинакового значения удельного ударного импульса и контактного напряжения на поверхности грунта) приводит к увеличению массы подвижных частей и гидроударного трамбующего рабочего органа в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алимов, О.Д. Гидравлические виброударные системы / О.Д. Алимов, С.А.Басов. – М.: Наука, 1990. – 352 с.
2. Архипенко, А.П. Гидравлические ударные машины / А.П. Архипенко, А.И. Федулов. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1991. – 108 с.
3. Галдин, Н.С. Автоматизированное моделирование гидроударного оборудования для экскаваторов: монография / Н.С. Галдин, И.А. Семенова. – Омск: СибАДИ, 2008. – 101 с.
4. Галдин, Н.С. Ковши активного действия для экскаваторов: учебное пособие / Н.С. Галдин, Е.А. Бедрина. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2003. – 52 с.
5. Галдин, Н.С. Рабочее оборудование ударного действия для уплотнения грунта трамбованием [Электронный ресурс]: монография / Н.С. Галдин; СибАДИ, кафедра ПТТ-МиГ. – Электрон. дан. – Омск: СибАДИ, 2016. – 104 с.
6. Гидропневмоударные системы исполнительных органов горных и строительно-дорожных машин / А.С. Сагинов, А.Ф. Кичигин, А.Г. Лазуткин, И.А. Янцен. – М.: Машиностроение, 1980. – 200 с.
7. Машины для уплотнения грунтов и дорожно-строительных материалов / С.А. Варганов, Г.С. Андреев, В.Я. Балакирев и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 240 с.
8. Тарасов, В.Н. Теория удара в строительстве и машиностроении / В.Н. Тарасов, И.В. Бояркина, М.В. Коваленко, С.В. Кузнецов, И.Ф. Шлегель. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 336 с.
9. Тарасов, В.Н. Расчет параметров трамбующих рабочих органов / В.Н. Тарасов, Н.С. Галдин // Строительные и дорожные машины. – 2003. – № 3. – С. 34 – 36.
10. Федоров, Д.И. Экскаваторные ковши активного действия / Д.И. Федоров, И.А. Недорезов, В.Г. Тайц, А.И. Федулов. – М.: Транспорт, 1974. – 224 с.
11. Федулов, А.И. Ударное уплотнение грунтов / А.И. Федулов, Р.А. Иванов, В.В. Пучков. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1983. – 118 с.

12. Цытович, Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цытович. – М.: Высш. школа, 1979. – 272 с.

13. Хархута, Н.Я. Машины для уплотнения грунтов. Теория, расчет и конструкции / Н.Я. Хархута. – М.: Машиностроение, 1973. – 176 с.

14. Янцен, И.А. Основы теории и конструирования гидropневмоударников / И.А. Янцен, Д.Н. Ешуткин, В.В. Бородин. – Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1977. – 246 с.

GROUND SEALING EQUIPMENT ON THE BASIS OF HYDRAULIC IMPACT DEVICES

N.S. Galdin

Abstract. A tamping – an effective way of soil compaction. At a tamping the ground is daded at the expense of a tool impact energy. Hinged ground sealing the equipment to excavators hydrostamps on the basis of hydraulic impact devices are perspectiv. Data about ground sealing equipment on the basis of hydraulic impact devices are resulted. Power indicators (energy, capacity of individual blow) hydropneumatic impact devices depend on speed mobile part and its such design data, as weight, course size mobile part, pressure of gymnastics of gas of the pneumoaccumulator. Dependences of mass of loose ports and an impact energy from width of a daded surface soil and contact voltages on a ground surface are presented.

Keywords: ground sealing, a tamping, the hydraulic impact devices.

REFERENCES

1. Alimov O. D. Hydraulic vibroudarnye systems / O.D.Alimov, S.A.Basov. – M: the Science, 1990. – 352.

2. Arhipenko A.P. Hydraulic shock machines / A.P.Arhipenko, A.I.Fedulov. – Novosibirsk: IGD WITH AN the USSR, 1991. – 108.

3. Galdin, N.S. Automiz simulation of the hydropercussion equipment for grapple dredgers: the monography / N.S.Galdin, I.A.Semenova. – Omsk: SibADI, 2008. – 101.

4. Galdin, N.S. Dipper of active act for excavators: the manual / N.S.Galdin, E.A.Bedrina. – Omsk: SibADI, 2003. – 52.

5. Galdin, N.S. The working equipment of a percussion for sealing of a ground by a tamping: the monography / N.S.Galdin. – Omsk: SibADI, 2016. – 104.

6. Gidropnevmodarnye systems of executive powers of mountain and building-road machines / A.S. Saginov, A.F. Kichigin, A.G. Lazutkin, I.A. Jantsen. – M: Engineering industry, 1980. – 200.

7. Machines for soil compaction and road-building materials / S.A.Varganov, G.S.Andreev, V.J.Balakirev, etc. – M: Engineering industry, 1981. – 240.

8. Tarasov, V.N. Teorija of blow in building and engineering industry / V.N. Tarasov, I.V. Bojarkina, M.V. Kovalenko, S.V. Kuznechov, I.F. Shlegel. – M: Publishing house ASV, 2006. – 336.

9. Tarasov, V.N. Raschet of parametres of tamping tools / V.N. Tarasov, N.S. Galdin / Building and road-making machines. – 2003. – № 3. – Page. 34 – 36.

10. Feodors D.I. Dipper of active act for excavators / D.I.Fedorov, I.A.Nedorezov, V.G.Tajts, A.I.Fedulov. – M: the Carrier, 1974. – 224.

11. Fedulov A.I. Shock soil compaction / A.I.Fedulov, R.A.Ivanov, V.V.Puchkov. – Novosibirsk: IGD WITH AN the USSR, 1983. – 118.

12. Tsytoich N.A. Soil mechanics / N.A.Tsytoich. – M: Vyssh. School, 1979. – 272.

13. Harhuta, N.J. Machines for soil compaction. The theory, calculation and constructions / N.J. Harhuta. – M: Engineering industry, 1973. – 176.

14. Jantsen, I.A. Fundamental of the theory and disign of hydropneumatic impact tools / I.A. Jantsen, D.N. Eshutkin, V.V. Borodin. – Kemerovo: the Kemerovo book publishing house, 1977. – 246.

Галдин Николай Семенович (Россия, Омск) – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод» Сибирский государственный автомобильно-дорожной университет. Основное направление научных исследований – теория и проектирование технических систем. Имеет более 240 опубликованных работ. E-mail: galdin_ns@sibadi.org.

Educational Institution of Higher Vocational Training «The Siberian Automobile and Highway University (SibADI)».

|||||

А.И. Демиденко, К.Ю. Гатыч

Аннотация. В работе рассмотрена схема взаимодействия рабочего оборудования бульдозера, позволяющая повысить производительность, за счет захвата и транспортирования дополнительным отвалом сразу двух призм волочения. Рассмотрен процесс взаимодействия дополнительного отвала бульдозера с ковшем, составлена расчетная схема и получены аналитические зависимости для определения сопротивления копанью дополнительным отвалом и его закрывания. Получен график зависимости усилия на штоке гидроцилиндра при копаньи дополнительным отвалом от хода штока.

ВВЕДЕНИЕ

сопротивления копанию ковшом, относительно центра поворота ковша, определяется как сумма действующих моментов (рис. 1, а):

где M_{kop} – момент сопротивления копанию, кН·м; $M_{зан}$ – момент сопротивления заполнению ковша, кН·м; M_{gp} – грузовой момент, определяемый весом перемещаемого грунта в ковше, кН·м; M_{κ} – грузовой момент, определяемый весом дополнительного отвала с ковшом, кН·м.

При построении расчетной схемы принимаем допущение, что сектор выкопанного грунта 1 перемещается в сектор 2 (рис. 1, б). Свободная поверхность призмы волочения $O1A$ переместится в линию $O1A_1$, повернувшись вокруг точки $O1$ так, чтобы площадь сектора 2 была равна сектору 1 умноженному на коэффициент разрыхления k_0 .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ КОПАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ОТВАЛОМ С КОВШОМ

$$S_2 = S_1 \cdot \kappa_p, \quad (2)$$

где S_1 - площадь выкопанного грунта, м^2 ; κ_p – коэффициент разрыхления грунта [2].

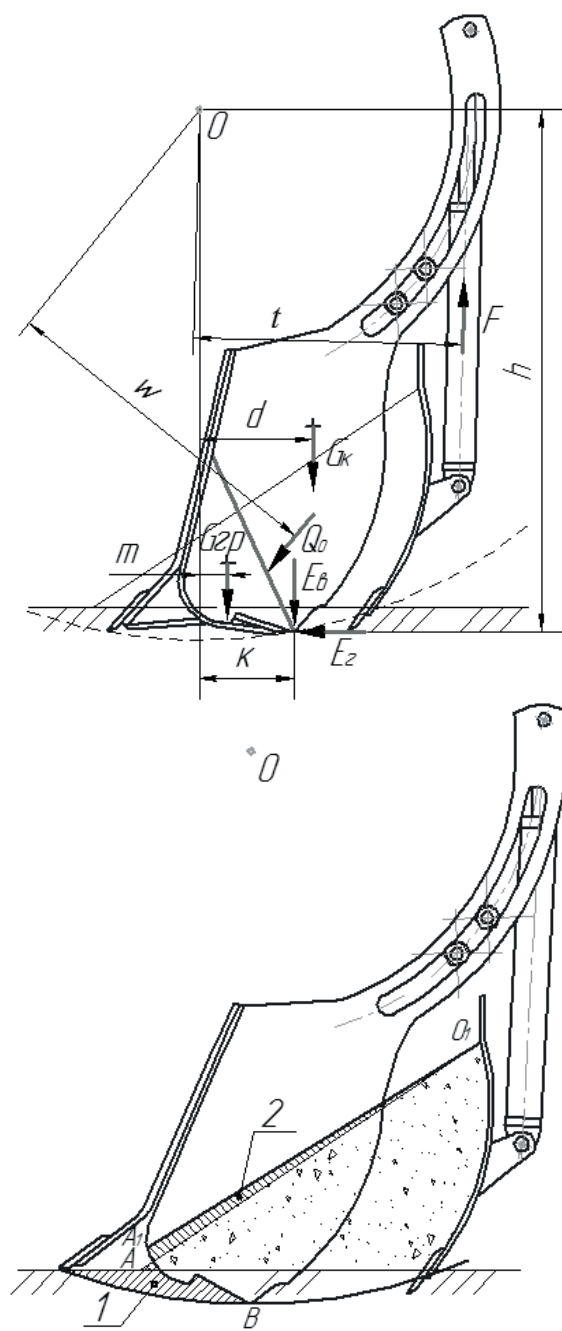


Рисунок 1 – Схемы, используемые при расчете: а – схема для определения усилия на штоке гидроцилиндра, при копании грунта дополнительным отвалом; б – схема размещения выкопанного грунта в ковше

Днище ковша имеет криволинейную поверхность. По аналогии с задней стенкой ковша погрузчика в работе Мещерякова В.И. [4] принимаем, что при внедрении ковша по криволинейной поверхности днища происходит уплотнение материала (зона N), а также происходит уплотнение материала возле основ-

ного отвала (зона Z). Уплотненный материал создает ограждающие плоскости AB и CF, а также плоскость BC на которые оказывается пассивное давление сыпучего тела призмы ABCF (рис. 2).

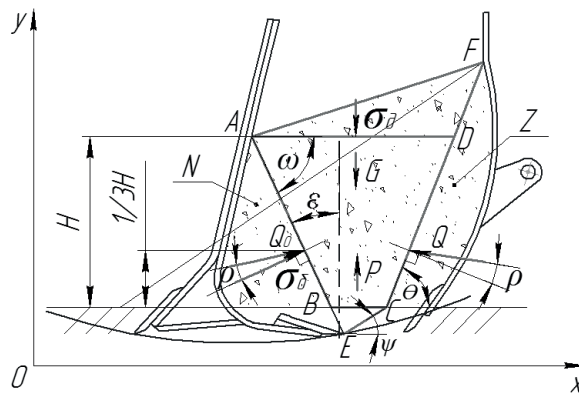


Рисунок 2 – Схема для определения усилий закрытия дополнительного отвала с ковшем

Если предположить, что ограждающая плоскость под действием каких-либо сил получит смещение в сторону сыпучего тела, то естественно ожидать, что некоторая часть сыпучего тела сдвинется и приподнимется вверх. Распространяя на этот случай теорию Кулона о том, что сдвиг сыпучего тела вообще происходит по некоторой плоскости, что сыпучее тело сдвигается, приняв как бы форму затвердевшего клина, мы можем принять, что в этом случае давление Q_0 со стороны ограждающей плоскости AB уравнивается весом G призмы выпирания, сопротивлением Q , имеющимся по плоскости CD выпирания и давлением продвижения срезаемой стружки P плоскостью BE. Давление Q_0 приложено на $1/3$ от высоты плоскости AB [6].

Угол плоскости сдвига ЕС к горизонтали (рис. 2) определяется по формуле

$$\psi = \frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}, \quad (3)$$

где ρ - угол внутреннего трения грунта.

Момент сопротивления заполнению ковша может быть определен следующим образом:

$$M_{зан} = Q_0 \cdot w, \quad (4)$$

где Q_0 – пассивное давление сыпучего тела на ограждающую плоскость AE, кН; w - плечо сопротивления Q_0 , м;

Пассивное давление сыпучего тела на ограждающую плоскость АЕ:

$$\begin{aligned} Q_0 &= \frac{\sigma_{\delta}}{\cos \rho} = \frac{1}{\cos \rho} \int_0^H \sigma_{\delta} \frac{dz}{\sin \omega} = \\ &= \frac{1}{\cos \rho} \int_0^H n \cdot \sigma_{\delta} \frac{dz}{\sin \omega} = \\ &= \frac{1}{\cos \rho} \int_0^H n \cdot \gamma_z \cdot z \frac{dz}{\sin \omega} = \\ &= \frac{n \gamma_z H^2}{2 \cos \rho \sin \omega}, \end{aligned} \quad (5)$$

где σ_{δ} – действующее давление, кН, $\sigma_{\delta} = \gamma_z \cdot z$ [4]; $\gamma_{z.n.c}$ – объемный вес грунта нарушенной структуры, кН/м³, $\gamma_{z.n.c} = \gamma_z / \kappa_p$; z – высота столба сыпучего материала над элементарной площадкой, м; σ_{δ} – боковое давление на площадку АВ, кН; ω – угол между горизонтальной площадкой АД и площадкой АВ; m – коэффициент подвижности; n – коэффициент бокового давления.

Коэффициент бокового давления n зависит от угла наклона ω площадки АД действующего давления σ_{δ} к площадке АВ бокового давления σ_{δ} [8].

Коэффициент бокового давления [8]:

$$n = \frac{\sigma_{\delta}}{\sigma_{\delta}} = \frac{tg^2 \omega + m}{1 + m \cdot tg^2 \omega}, \quad (6)$$

где m коэффициент подвижности [8]:

$$m = tg^2 \frac{90^\circ - \rho}{2}. \quad (7)$$

Для определения давления продвигания срезанной стружки P необходимо составить уравнения равновесия, спроецировав силы P , G , Q_0 , Q на оси x , y (рис. 2).

Проецируем силы на оси x , y :

$$\begin{aligned} \Sigma_x &= -Q \cdot \sin \rho \cdot \cos \theta - Q \cdot \cos \rho \cdot \\ &\cdot \sin \theta + Q_0 \cdot \cos \rho \cdot \cos \varepsilon + Q_0 \cdot \\ &\cdot \sin \rho \cdot \sin \varepsilon = 0, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\Sigma_y = -G + P - Q_0 \cdot \sin \rho \cdot \cos \varepsilon +$$

$$+ Q_0 \cdot \cos \rho \cdot \sin \varepsilon + Q \cdot \cos \rho \cdot$$

$$\cdot \cos \theta - Q \cdot \sin \rho \cdot \sin \theta =$$

$$= -G + P - Q_0 (\sin \rho \cdot \cos \varepsilon + \cos \rho \cdot \sin \varepsilon) +$$

$$+ Q (\cos \rho \cdot \cos \theta - \sin \rho \cdot \sin \theta) = 0, \quad (9)$$

Из уравнения (8) получим соотношение

$$Q = Q_0 \left(\frac{\cos \rho \cdot \cos \varepsilon + \sin \rho \cdot \sin \varepsilon}{\sin \rho \cdot \cos \theta + \cos \rho \cdot \sin \theta} \right), \quad (10)$$

которое подставляем в уравнение (9):

$$\Sigma_y = -G + P -$$

$$- Q_0 (\sin \rho \cdot \cos \varepsilon + \cos \rho \cdot \sin \varepsilon) +$$

$$+ Q_0 \left(\frac{\cos \rho \cdot \cos \varepsilon + \sin \rho \cdot \sin \varepsilon}{\sin \rho \cdot \cos \theta + \cos \rho \cdot \sin \theta} \right) \times$$

$$\times (\cos \rho \cdot \cos \theta - \sin \rho \cdot \sin \theta) = 0. \quad (11)$$

Из полученного выражения (11) находим значение P :

$$P = G - Q_0 \frac{\cos(2\rho + \theta - \varepsilon)}{\sin(\rho + \theta)}. \quad (12)$$

Вертикальная равномерно распределенная пригрузка q на участке ВС определяется по формуле [2]:

$$q = \frac{P}{BC}. \quad (13)$$

Выражение момента сопротивления копанию, возникающего при взаимодействии ножа с грунтом, определяется зависимостью:

$$M_{\text{кон}} = E_z h + E_{\theta} \kappa, \quad (14)$$

где E_z – горизонтальная составляющая сопротивления грунта сколу, кН; E_{θ} – верти-

РАЗДЕЛ I.

ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

кальная составляющая сопротивления грунта сколу, кН; h - плечо сопротивления E_z , м; κ - плечо сопротивления E_κ , м;

Горизонтальная составляющая грунта сколу [2,7]:

$$E_z = M_1 b \left[K_1 \left(\frac{\gamma_z}{2} h^2 + qh + Ch \operatorname{ctg} \rho \right) - Ch \operatorname{ctg} \rho \right], \quad (15)$$

где b - ширина резания (ширина ковша), м;

$$\beta = 90^\circ - \delta; \quad (16)$$

$$M_1 = 1 + \operatorname{tg} \varphi_1 \operatorname{tg} \beta; \quad (17)$$

$$K_1 = \frac{\cos \rho_0 (\cos \rho_0 + \sqrt{\sin^2 \rho - \sin^2 \rho_0}) (\sin \rho \cos \varphi_1 + \sqrt{1 - \sin^2 \rho \cdot \sin^2 \varphi_1})^2}{\cos^2 \rho (1 - \sin \rho)}; \quad (18)$$

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{2} + \beta - \frac{\rho_0}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \rho_0}{\sin \rho}; \quad (19)$$

ρ - угол внутреннего трения грунта; ρ_0 - угол внешнего трения грунта; δ - угол резания плоскостью ВЕ; β - угол заострения ножа; C - коэффициент сцепления грунта; h - толщина срезаемой стружки.

Вертикальная составляющая грунта сколу [7]:

$$E_\kappa = M_2 b \left[K_1 \left(\frac{\gamma_z}{2} h^2 + qh + Ch \operatorname{ctg} \rho \right) - Ch \operatorname{ctg} \rho \right], \quad (20)$$

$$M_2 = \operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \varphi_1. \quad (21)$$

Грузовой момент, определяемый весом перемещаемого грунта в ковше дополнительного отвала:

$$M_{ep} = G_z \cdot m, \quad (22)$$

где G_z - вес грунта в ковше дополнительного отвала, кН; m - плечо, м.

Принимаем, что вес грунта G_z приложен в центре тяжести сыпучего тела (зона N).

Вес грунта G_z в ковше:

$$G_z = \gamma_{z.н.с} S b, \quad (23)$$

где S - площадь грунта в ковше (зона N), м².

Грузовой момент, определяемый весом поднимаемого дополнительного отвала с ковшом:

$$M_\kappa = G_\kappa \cdot d, \quad (24)$$

где G_κ - вес дополнительного отвала с ковшом, кН; d - плечо, м;

Принимаем, что вес G_κ приложен в центре тяжести дополнительного отвала с ковшом.

Тогда усилие на штоке гидроцилиндра, при копании грунта дополнительным отвалом с ковшом, может быть записано следующим образом:

$$F = \frac{G_{zp} \cdot m + G_k \cdot d + Q_0 \cdot w + E_g \cdot \kappa + E_z \cdot h}{t} \quad (25)$$

где t – плечо силы F , м.

Определение усилия на штоке гидроцилиндра доводится до численных решений, характеризующихся следующими данными: h – толщина срезаемой стружки дополнительным отвалом (изменяется в зависимости от поворота отвала), $h = 0 \div 0,146$ м; ρ – угол внутреннего трения грунта, $\rho = 26,5^\circ$; ρ_0 – угол внешнего трения грунта, $\rho_0 = 26^\circ$; δ – угол резания, $\delta = 32^\circ \div 71^\circ$; C – коэффициент сцепления грунта, $C = 20$ кН/м²; γ_z – объемный вес грунта в плотном теле, $\gamma_z = 20,5$ кН/м³; b – ширина резания (ширина дополнительного отвала), $b = 2,65$ м; κ_p – коэффициент разрыхления грунта, $\kappa_p = 1,2$; высота дополнительного отвала 1,2 м; объем ковша дополнительного отвала 2,36 м³.

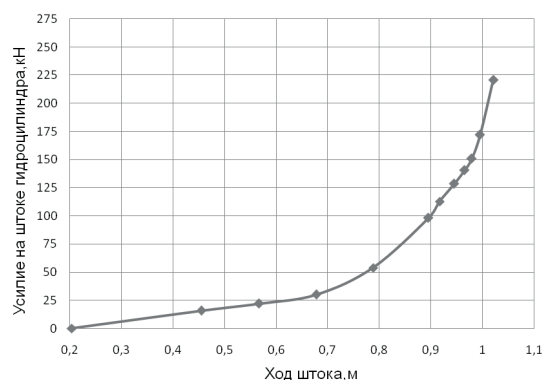


Рисунок 3 – График зависимости усилия на штоке гидроцилиндра от хода штока

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана расчетная схема процесса взаимодействия дополнительного отвала с ковшом при его закрывании. Получены аналитические зависимости, позволяющие определить усилия на штоке гидроцилиндра дополнительного отвала с ковшом в зависимости от хода штока этого гидроцилиндра.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гатыч, К.Ю. Повышение эффективности бульдозера при земляных работах / А.И. Демиденко, К.Ю. Гатыч // Техника и технологии строительства. – 2016. – № 8. – С. 45-50.
2. Алексеева, Т.В. Дорожные машины / Т.В. Алексеева, К.А. Артемьев, А.А. Бромберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 504 с.
3. Артемьев, К.А. Основы теории копания грунта скреперами / Артемьев, К.А. – М.: Машгиз, 1963. – 128 с.
4. Мещеряков, В.И. Исследование процесса черпания ковшевым захватным органом погрузчика совмещенным способом: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / В. И. Мещеряков; науч. рук.: К. А. Артемьев, С. В. Абрамов; СиБАДИ. – Омск, 1976. – 24 с.
5. Пат. 161 882 РФ: МПК Е 02 F 3/76: Рабочее оборудование бульдозера / А.И. Демиденко, К.Ю. Гатыч; СиБАДИ. – № 2015149170/03; заявл. 16.11.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 13.
6. Прокофьев, И.П. Теория сыпучих тел / Прокофьев, И.П. – М.: Госстройиздат, 1934. – 111 с.
7. Артемьев, К.А. Теория резания грунтов землеройно-транспортными машинами: учеб. пособие / Артемьев, К.А. – Омск: Омпи, 1989. – 80 с.
8. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Зенков, Р.Л. – М.: Машгиз, 1952. – 215 с.

CALCULATION OF EFFORTS OF DIGGING BY THE WORKING EQUIPMENT OF THE BULLDOZER

A.I. Demidenko, K.Yu. Gatyach

Abstract: In the work a new design of the working equipment of the bulldozer is considered, which makes it possible to increase productivity, by capturing and transporting an extra blade of two pile at once. In this connection, it was necessary to compile a design scheme for determining the resistance to digging an extra blade. Was received the graph of the force dependence on the rod of the hydraulic cylinder from the stroke of the rod, when digging an additional blade.

Keywords: bulldozer, extra blade, digging resistance, analysis of forces.

REFERENCES

1. Gatykh K.Yu., Demidenko A.I. Increasing effectiveness of bulldozer earthmoving. Engineering and technology of construction, 2016, no 8, pp. 45-50.
2. Alekseeva T.V., Artemyev K.A., Bromberg A.A. Road machines. – M.: Mechanical engineering, 1972. – 504 p.
3. Artemyev K.A. Fundamentals of the theory of digging soil with scrapers. – M.: Mashgiz, 1963. – 128 p.
4. Meshcheryakov V.I. Investigation of the process of scooping the bucket gripper of the loader by a combined method :abstract. dis ... cand. tech. sciences / V.I. Meshcheryakov. SibADI. – Omsk, 1976. 24 p.
5. Demidenko A.I., Gatykh K.Yu. Bulldozer working equipment. Patent RF, no 2015149170/03, 2016.
6. Prokofiev, I.P. Theory of loose bodies. – M.: Gosstroyizdat, 1934. – 111 p.
7. Artemyev K.A. Theory of cutting soils by digging and transporting machines: Textbook. –

Omsk: Ompi, 1989. – 80 p.

8. Zenkov, R.L. Mechanics of bulk cargoes. – M.: Mashgiz, 1952. – 215 p.

Демиденко Анатолий Иванович (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, профессор ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, д.5, e-mail: demidenko_ai@sibadi.org).

Гатыч Константин Юрьевич (Россия, г. Омск) – аспирант гр. МАШ-15АСП1, ФГБОУ ВО «СибАДИ», (644080, г. Омск, пр. Мира, д.5, e-mail: konstantin484@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Demidenko Anatoliy Ivanovich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, professor, FSBEI HE «SibADI» (644080, Omsk, Mira Ave., 5; e-mail: demidenko_ai@sibadi.org).

Gatykh Konstantin Yuryevich (Russian Federation, Omsk) – postgraduate student group MASH-15ASP1 FSBEI HE «SibADI», (644080, Omsk, Mira Ave., 5; e-mail: konstantin484@mail.ru).

УДК 621.86

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗГОНА И ТОРМОЖЕНИЯ ГРУЗА
МОСТОВОГО КРАНА В РЕЖИМЕ ГАШЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ**

М.С. Корытов, В.С. Щербаков

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. Для динамической системы плоского маятника с затуханием колебаний, описывающей колебания груза мостового крана на гибком канатном подвесе в отдельной вертикальной плоскости, предложено использовать синусоидальную функцию со смещением для задания временной зависимости угла отклонения грузового каната от гравитационной вертикали. Варьирование времени разгона с изменением угла отклонения каната по предложенной аналитической зависимости позволяет достичь различных скоростей перемещения груза в режиме отсутствия колебаний груза, а также различных максимальных ускорений точки подвеса. Получено аналитическое решение задачи гашения остаточных колебаний груза мостового крана, возникающих после полного разгона или торможения точки подвеса груза на грузовой тележке. Для вывода зависимостей использован способ пересчета известных аналитических зависимостей угла отклонения грузового каната мостового крана от гравитационной вертикали в зависимости от ускорения, скорости и перемещения точки подвеса груза.

Ключевые слова: мостовой кран, гашение колебаний, раскачивание, синусоидальная функция

ВВЕДЕНИЕ

Перемещение грузов на гибком подвесе

канатного типа, которое осуществляют, в частности, опорные однобалочные и двухбалочные мостовые краны (МК) общего назначения,

целесообразно проводить в режиме гашения неуправляемой компоненты маятниковых колебаний груза. Маятниковые колебания груза увеличивают время цикла МК, снижают не только производительность, но и безопасность работ [1, 2, 3]. Для полного гашения остаточной неуправляемой компоненты маятниковых колебаний груза при перемещении его в отдельной плоскости, предлагается перемещать точку подвеса груза (грузовую тележку, либо мост МК) по заданной аналитически синусоидальной временной зависимости (траектории). Подобное перемещение не только подавит остаточную неуправляемую компоненту колебаний, но и обеспечит заранее определенную временную зависимость угла отклонений грузового каната МК от вертикали.

Известные методы синтеза траектории точки подвеса [3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12] имеют общий недостаток в виде сравнительно большой погрешности реализации как угла отклонения грузового каната МК от вертикали, так и линейных координат перемещаемого груза. Как правило, угол отклонения грузового каната МК от вертикали не отслеживается и не контролируется. Время перемещения груза увеличивается.

Способ разгона груза в плоскости в режиме гашения остаточных колебаний

Для аналитического вывода нелинейных временных зависимостей ускорения, скорости и перемещения точки подвеса груза (грузовой тележки), полностью подавляющих остаточные неуправляемые колебания, использовалась известная математическая модель плоского маятника, для малых углов отклонения грузового каната описываемая линеаризованным дифференциальным уравнением второго порядка [13, 14, 15, 16]:

$$\ddot{q} + \ddot{x} / L + (2 \cdot b / m) \dot{q} + g \cdot q / L = 0, \quad (1)$$

где m – масса груза, кг; L – длина грузового каната МК от подвижной точки подвеса на грузовой тележке (центр блока роликов полиспаста) до центра масс груза, м; b – приведенный к угловой координате коэффициент вязкого трения, задающий меру диссипации энергии,

Н·м·с/рад; q , $\dot{q}$, $\ddot{q}$ – угол отклонения грузового каната МК от гравитационной вертикали и его первые две производные по времени соответственно, рад, рад/с, рад/с²; $g=9,81$ – ускорение свободного падения, м/с²; $\ddot{x}$ – линейное ускорение точки подвеса груза в горизонтальном направлении движения грузовой тележки, м/с².

Были приняты допущения о малости угла отклонения грузового каната от гравитационной вертикали (не более 1-3°), о постоянстве длины грузового каната L в процессе перемещения груза, о возможности бесступенчатого регулирования скорости $\dot{x}$ и ускорения $\ddot{x}$ разгона и торможения точки подвеса груза (грузовой тележки МК) в горизонтальном направлении, и о пренебрежимо малом влиянии массы перемещаемого груза и подвижных звеньев МК на управляемый параметр ускорения точки подвеса $\ddot{x}$. Бесступенчатый характер регулирования скорости и ускорения точки подвеса груза обеспечивают перспективные частотно-регулируемые приводы движений моста и грузовой тележки МК.

Был разработан способ разгона (торможения) груза в режиме полного гашения остаточных колебаний, возникающих после разгона. Синтезируется такое управление точкой подвеса, которое обеспечивает нулевые значения одновременно угла отклонения грузового каната q и скорости изменения угла $\dot{q}$ в конечный момент разгона (торможения).

Использован принцип пересчета аналитической временной зависимости $q(t)$ угла отклонения грузового каната от вертикали в аналитические зависимости ускорения, скорости и перемещения точки подвеса груза на грузовой тележке. Временная зависимость угла $q(t)$ задавалась в виде синусоидальной функции с вертикальным смещением на величину A вдоль оси ординат:

$$q(t) = A + A \cdot \sin(t \cdot w - (\pi / 2)), \quad (2)$$

где A – амплитуда угла наклона грузового каната МК во время перемещения груза, рад; $w=2 \cdot \pi / T_{\text{разг}}$ – циклическая частота синусоиды, рад/с; $T_{\text{разг}}$ – время разгона (торможения) груза, равное периоду синусоиды с циклической частотой w .

Аналитическое дифференцирование выражения (2) позволяет в символьном виде получить выражения для первой $\dot{q}(t)$ и второй $\ddot{q}(t)$ производных угла наклона каната, т.е. для скорости и ускорения последнего:

$$\dot{q}(t) = A \cdot w \cdot \cos((\pi / 2) - t \cdot w);$$

$$\ddot{q}(t) = A \cdot w^2 \cdot \sin((\pi / 2) - t \cdot w). \quad (3)$$

Выражение ускорения точки подвеса $\ddot{x}$ из (1) имеет вид

$$\ddot{x} = -L(\ddot{q} + 2b\dot{q} / m + g \cdot q / L). \quad (4)$$

Подстановка аналитических выражений $\dot{q}(t)$ и $\ddot{q}(t)$ (3) в (4) позволяет получить аналитическое выражение ускорения точки подвеса груза $\ddot{x}(t)$:

$$\ddot{x}(t) = -g(A - A \cdot \sin((\pi/2) - t \cdot w)) - A \cdot L \cdot w^2 \cdot \sin((\pi/2) - t \cdot w) - \frac{2 \cdot A \cdot L \cdot b \cdot w \cdot \cos((\pi/2) - t \cdot w)}{m}. \quad (5)$$

Аналитическое дифференцирование выражения (5), в свою очередь, позволяет в символьном виде получить выражения для скорости $\dot{x}(t)$ и перемещения $x(t)$ точки подвеса груза:

$$\dot{x}(t) = \frac{(2 \cdot A \cdot g \cdot m - 2 \cdot A \cdot L \cdot m \cdot w^2 + 4 \cdot A \cdot L \cdot b \cdot w \cdot \operatorname{tg}((\pi/4) - (t \cdot w/2)))}{w(m \cdot \operatorname{tg}((\pi/4) - (t \cdot w/2))^2 + m)} - A \cdot g \cdot t; \quad (6)$$

$$x(t) = \frac{\left(\frac{m \cdot t(2 \cdot A \cdot g - 2 \cdot A \cdot L \cdot w^2)}{2} - \frac{A \cdot g \cdot m \cdot t^2 \cdot w}{2} \right)}{m \cdot w} - \frac{\left(\operatorname{tg}((\pi/4) - (t \cdot w/2)) \left(\frac{2 \cdot A \cdot g \cdot m}{w} - 2 \cdot A \cdot L \cdot m \cdot w \right) - 4 \cdot A \cdot L \cdot b \right)}{(m \cdot w \cdot \operatorname{tg}((\pi/4) - (t \cdot w/2))^2 + m \cdot w)}. \quad (7)$$

Оптимизация значений параметров A , и $T_{\text{разг}}$, входящих в выражение (2), позволит не только учесть ограничения на предельные максимальные значения скорости $\dot{x}_{\text{lim}}$ и ускорения $\ddot{x}_{\text{lim}}$ точки подвеса груза, но и переместить груз на заданное расстояние l_x .

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПОСОБА РАЗГОНА ГРУЗА В РЕЖИМЕ ГАШЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ

При моделировании разгона груза предложенным способом, в качестве исходных данных задавались постоянные конструктивные параметры рассматриваемой динамической системы, описанные выше. В описываемом вычислительном эксперименте: $g=9,81 \text{ м/с}^2$; $L=10 \text{ м}$; $b=0,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с/рад}$; $m=100 \text{ кг}$.

Также задавались значения постоянных для отдельного вычислительного эксперимента параметров A и $T_{\text{разг}}$ и величина шага дискретизации времени dt .

Затем в цикле, изменяющем время переходного процесса разгона t от 0 до $T_{\text{разг}}$ с шагом dt , по формулам (3) – (7) для каждого значения времени t рассчитывались значения параметров $q(t)$, $\dot{q}(t)$, $\ddot{q}(t)$, $\ddot{x}(t)$, $\dot{x}(t)$, $x(t)$ соответственно.

По окончании разгона $T_{\text{разг}}$ скорость подвеса оставалась постоянной и принимала значение $\dot{x}(T_{\text{разг}})$. Ускорение подвеса $\ddot{x}$, угол отклонения грузового каната q , его скорость и ускорение принимали при этом постоянные нулевые значения во все последующие моменты времени $t > T_{\text{разг}}$ вплоть до начала торможения.

Проверка реакции динамической системы МК с грузом на рассчитанное по (3) – (7) управляющее воздействие осуществлялась на созданной в MATLAB/Simulink имитационной математической модели (1) (рис. 1).

Пример синтезированных по (3) – (7) временных зависимостей $q(t)$, $\dot{q}(t)$, $\ddot{q}(t)$, $\ddot{x}(t)$, $\dot{x}(t)$, $x(t)$ для исходных данных $A=1^\circ$ и $T_{\text{разг}}=6 \text{ с}$ приведен на рис. 2, а, б, в.

Результаты варьирования $T_{\text{разг}}$ при фиксированных значениях g , L , b , m , A (значения приведены выше), и соответствующие функциональные зависимости скорости подвеса $\dot{x}(T_{\text{разг}})$ и максимального ускорения подвеса $\ddot{x}_{\text{max}}$ представлены на рис. 2, г.

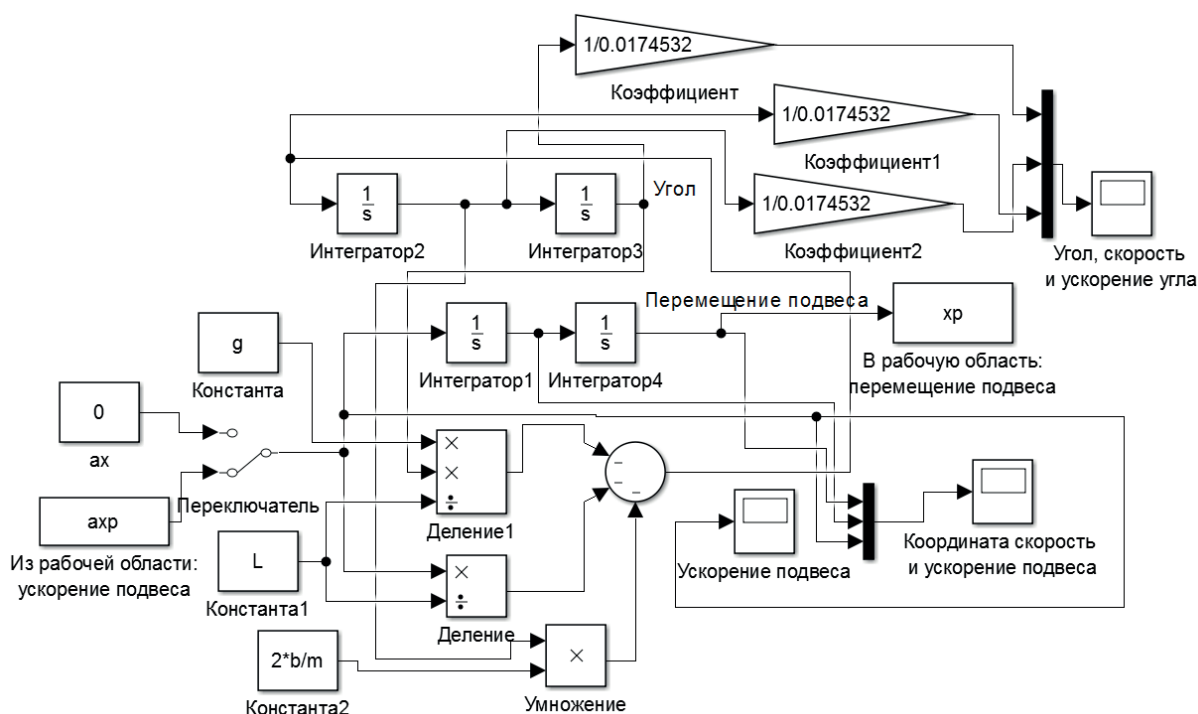


Рисунок 1 – Имитационная математическая модель колебаний груза, перемещаемого мостовым краном в отдельной плоскости, описываемая дифференциальным уравнением (1)

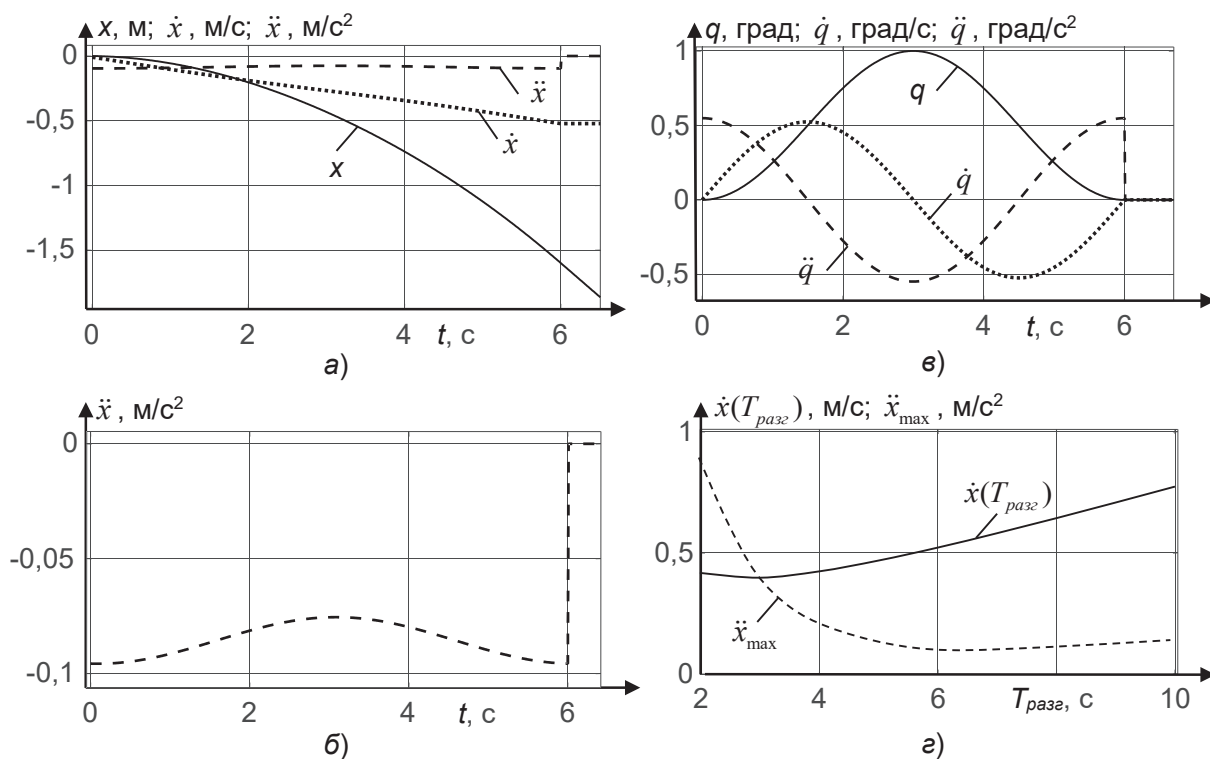


Рисунок 2 – Пример временных зависимостей перемещения, скорости и ускорения точки подвеса (а), соответствующих им перемещения, скорости и ускорения угла наклона каната (б), ускорения угла наклона каната (в) для $A=1^\circ$, $T_{разг}=6$ с и функциональные зависимости конечной скорости подвеса $\dot{x}_{max}$ и максимального ускорения подвеса $\ddot{x}_{max}$ от времени разгона $T_{разг}$ (г)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ приведенных на рис. 2 результатов позволил сделать следующие выводы. Использование в качестве заданной временной функции изменения угла отклонения грузового каната МК синусоидальной функции с вертикальным смещением на величину A вдоль оси ординат, и фазой $(-\pi/2)$ позволило синтезировать такое управляющее перемещение точки подвеса груза, которое обеспечивает нулевые значения одновременно угла отклонения грузового каната q и скорости изменения угла $\dot{q}$ в конечный момент разгона (торможения) $T_{\text{разг}}$.

По аналитическому выражению временной функции изменения угла отклонения грузового каната МК получены аналитические выражения ускорения, скорости и перемещения точки подвеса груза в зависимости от времени перемещения. Полученные решения обладают всеми преимуществами аналитического выражения функций управления точкой подвеса в виде детерминированности, абсолютной точности и устойчивости.

Достоинством предложенного способа является конечность времени разгона (торможения) груза, в отличие от, например, функций класса сигмоид.

Ускорение точки подвеса груза, обеспечивающее изменение угла наклона грузового каната по синусоидальной траектории, меняется от нуля скачкообразно в начальный и конечный моменты разгона (торможения). В процессе разгона оно имеет синусоидальный характер со смещением синусоидальной функции вдоль оси ординат.

Ускорение угла наклона каната также меняется от нуля скачкообразно в начальный и конечный моменты разгона (торможения).

Полученные в качестве примера функциональные зависимости конечной скорости подвеса и максимального ускорения подвеса от времени разгона имеют локальные минимумы, что позволяет при необходимости оптимизировать процесс по указанным параметрам.

Оптимизация значений параметров исходных данных амплитуды угла наклона каната и времени разгона открывает возможность не только учесть ограничения на предельные максимальные значения скорости и ускорения точки подвеса груза, но и переместить груз на заданное расстояние с последующим торможением в режиме полного гашения остаточных колебаний груза. Для торможения могут быть использованы те же аналитические зависимости, что и для разгона, но

с противоположным знаком угла отклонения грузового каната.

Полученные теоретические результаты исследований рекомендуется использовать в системах автоматического управления МК общего назначения опорного типа грузоподъемностью до 5 т при двухкратной запасовке грузового полиспаста.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щедринов А.В., Сериков С.А., Колмыков В.В. Автоматическая система успокоения колебаний груза для мостового крана // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2007. – № 8. – С. 13–17.
2. Толочко О.И., Бажутин Д.В. Сравнительный анализ методов гашения колебаний груза, подвешенного к механизму поступательного движения мостового крана // Электромашиностроение и электрооборудование. – 2010. – № 75. – С. 22–28.
3. Алгоритмы подавления колебаний грузов подъемно-транспортных механизмов с использованием нечеткой логики функционирования / О.А. Шведова и др. // Доклады БГУИР. – 2014. – № 1 (79). – С. 65–71.
4. Черноусько Ф.Л., Акуленко Л.Д., Соколов Б.Н. Управление колебаниями. – М.: Наука, 1980. – 383 с.
5. Ridout A.J. Anti-swing control of the overhead crane using linear feedback // J. of Electrical and Electronics Engineering. – 1989. – Vol. 9, No. 1/2. – p. 17–26.
6. Omar H.M. Control of gantry and tower cranes : PhD Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. – 2003. – 100 p.
7. Korytov M., Shcherbakov V., Volf E. Impact sigmoidal cargo movement paths on the efficiency of bridge cranes // International Journal of Mechanics and Control, ISSN: 1590-8844. – 2015. – Vol. 16, No. 2. – p. 3–8.
8. The reduction of errors of bridge crane loads movements by means of optimization of the spatial trajectory size / V. Shcherbakov, etc. // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 811. – p. 99–103.
9. Mathematical modeling of process moving cargo by overhead crane / V. Shcherbakov, etc. // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vols. 701-702. – p. 715–720.
10. A new vision-sensorless anti-sway control system for container cranes / Y.S. Kim, etc. // Industry Applications Conference. – 2003. – Vol. 1. – p. 262–269.

11. Command Shaping for Nonlinear Crane Dynamics / D. Blackburn, etc. // Journal of Vibration and Control. – 2010. – № 16. – p. 477–501.

12. Singer N., Singhose W., Seering W. Comparison of filtering methods for reducing residual vibration // European Journal of Control. – 1999. – No. 5. – p. 208–218.

13. Блехман И. И. Вибрационная механика. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.

14. Щербаков В.С., Корытов М.С., Вольф Е.О. Алгоритм компенсации управляемых

пространственных колебаний груза и повышения точности траектории его перемещения грузоподъемным краном // Вестник машиностроения. – 2015. – № 3. – С. 16–18.

15. Бутиков Е.И. Необычное поведение маятника при синусоидальном внешнем воздействии // Компьютерные инструменты в образовании. – 2008. – № 2. – С. 24–36.

16. Кильчевский Н.А. Курс теоретической механики, Т. 1 (кинематика, статика, динамика точки). – М.: Наука, 1972. – 456 с.

USE OF SINUSOIDAL FUNCTION FOR MODELING OF RAISING AND BRAKING OF THE SHIP OF BRIDGE CRANE IN THE MODE OF GAUGE OF VIBRATIONS

M.S. Korytov, V.S. Scherbakov

Abstract. For a dynamical system of a plane pendulum with vibration damping, describing the oscillations of the load of a bridge crane on a flexible cable suspension in a separate vertical plane, it is proposed to use a sinusoidal function with an offset to determine the time dependence of the deviation angle of the cargo rope from the gravitational vertical. Varying the acceleration time with a change in the rope deflection angle according to the proposed analytical dependence allows to achieve different speeds of cargo movement in the absence of cargo oscillation mode, as well as various maximum acceleration of the suspension point. An analytical solution is obtained for the problem of suppressing residual oscillations of the bridge crane load that arise after the full acceleration or deceleration of the suspension point of the load on the freight trolley. To derive the dependencies, a method is used to recalculate known analytical dependencies of the angle of deviation of the load line of a bridge crane from the gravitational vertical, depending on the acceleration, speed, and displacement of the suspension point of the load.

Keywords: bridge crane, vibration damping, controller, load sway.

REFERENCES

1. Shedrinov, A. An automatic system of load's oscillation damping for the bridge crane / A. Shedrinov, S. Serikov, V. Kolmykov // Devices and systems, Management, Controlling, Diagnostic, 2007, № 8. pp. 13-17.

2. Tolochko O. A comparative analysis of methods of damping the load suspended from the mechanism of translational motion of overhead crane / O. Tolochko, D. Bazhutin // Electrical engineering and electrical equipment, 2010. № 75. pp. 22-28.

3. Shvedova, O.A. Algorithms for suppressing vibrations of goods lifting and transport mechanisms using fuzzy logic operation / O.A. Shvedova, etc. // Reports BSUIR. – 2014. – № 1 (79). – pp. 65-71.

4. Chernousko, F.L. Fluctuations management / F.L. Chernousko, L.D. Akulenko, B.N. Sokolov. – М.: Nauka, 1980. – 383 p.

5. Ridout A.J. Anti-swing control of the overhead crane using linear feedback // J. of Electrical and Electronics Engineering. – 1989. – Vol. 9, No. 1/2. – pp. 17-26.

6. Omar H.M. Control of gantry and tower cranes : PhD Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. – 2003. – 100 p.

7. Korytov M., Shcherbakov V., Volf E. Impact sigmoidal cargo movement paths on the efficiency of bridge cranes // International Journal of Mechanics and Control, ISSN: 1590-8844. – 2015. – Vol. 16, No. 2. – pp. 3–8.

8. The reduction of errors of bridge crane loads movements by means of optimization of the spatial trajectory size / V. Shcherbakov, etc. // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 811. – pp. 99–103.

9. Mathematical modeling of process moving cargo by overhead crane / V. Shcherbakov, etc. //

Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vols. 701-702. – pp. 715–720.

10. A new vision-sensorless anti-sway control system for container cranes / Y.S. Kim, etc.// Industry Applications Conference. – 2003. – Vol. 1. – pp. 262–269.

11. Command Shaping for Nonlinear Crane Dynamics / D. Blackburn, etc. // Journal of Vibration and Control. – 2010. – № 16. – pp. 477–501.

12. Singer N., Singhose W., Seering W. Comparison of filtering methods for reducing residual vibration // *European Journal of Control.* – 1999. – No. 5. – pp. 208–218.

13. Denisenko, V.V. Varieties of PID-regulators / V.V. Denisenko // Automation in the industry. – 2007. – № 6. – pp. 45-50.

14. Mitchell, Tom M. Machine Learning. – WCB/McGraw-Hill, 1997. – 414 p.

Корытов Михаил Сергеевич (Омск, Россия) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии» ФГБОУ ВО

«СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: kms142@mail.ru)

Щербakov Виталий Сергеевич (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов и электротехника» ФГБОУ ВО «СиБАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мухоморова, 5. e-mail: sherbakov_vs@sibadi.org)

Mikhail S. Korytov (Omsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of a university department “Automobiles, construction materials and technologies”, The Siberian Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: kms142@mail.ru)

Vitaliy S. Sherbakov (Omsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department “Automation of industrial processes and electrical”, The Siberian Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: sherbakov_vs@sibadi.org)

УДК 629.084

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПЛОТНЕНИЯ УПРУГОВЯЗКОПЛАСТИЧНОЙ ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С РАБОЧИМ ОРГАНОМ ДОРОЖНОЙ МАШИНЫ В РАМКАХ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОДХОДА СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ

В.В. Мухеев¹, С.В. Савельев²

¹Омский государственный технический университет (СиБАДИ), Россия, г. Омск

²Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В статье обсуждается вопрос моделирования процесса взаимодействия активной области грунтового слоя с рабочим органом уплотняющей дорожной машины, рассматриваемого в рамках модифицированного подхода сосредоточенных параметров. Предложена математическая модель, эффективно описывающая динамику вещества грунтового слоя при уплотнении. Рассмотрена возможность ее реализации в виде численного алгоритма. Сущность модифицированного подхода сосредоточенных параметров, уплотняемого грунтового слоя, заключается в том, что деформируемый слой делится на несколько разных, вертикально расположенных элементов, описываемых соответствующими реологическими моделями. Основное преимущество такого подхода заключается в возможности достаточно точного описания нелинейных деформационных процессов в зависимости от глубины прорабатываемой грунтовой среды.

Ключевые слова: уплотнение грунтов, сосредоточенные параметры, моделирование, механические свойства, жесткость, упруговязкопластичная среда.

ВВЕДЕНИЕ

Задачи повышения эффективности процесса уплотнения грунтов в дорожном строительстве требуют для своего решения развития методов описания взаимодействия рабочего органа дорожной машины с уплотняемой средой. Традиционно для этого используются модельные представления, учитывающие механо-реологические особенности уплотняемых сред. Ниже будет представлена формализованная модель взаимодействия рабочего органа дорожной машины с эффективным объемом слоя грунтовой среды в рамках модифицированного подхода сосредоточенных параметров, учитывающего особенности развития напряженно-деформированного состояния в слое упруговязкопластичной среды при поверхностном нагружении. Также предлагаемый подход принимает во внимание изменение с величиной поверхностной деформации массы активной области грунта, увлекаемой в движение рабочим органом. Это может иметь место в случае деформируемого рабочего органа в случае плоского пятна контакта, а также жесткого рабочего органа цилиндрической или иной формы, когда форма пятна контакта не может считаться плоской. Решение указанной задачи можно построить в рамках Лагранжева формализма классической механики, позволяющего учесть связи и наличие диссипативных сил, с дальнейшим обобщением на силы сухого трения, реализующиеся при пластическом деформировании области грунта, обеспечивающие накопление остаточных деформаций уплотняемым слоем среды. Преимуществом предлагаемого подхода является более точный учет характеристик грунтовой среды и естественность выбора величин областей слоя с различными характеристиками по отношению к особенностям развития в них напряженно-деформированного состояния при поверхностном динамическом воздействии со стороны рабочего органа уплотнителя.

Аналогичный подход был развит в работе [1] в случае постоянного размера пятна контакта и величин областей грунтового слоя, выбираемых исследователем произвольно. Следует отметить, что при этом были достаточно точно выявлены закономерности процесса вибрационного уплотнения грунтового слоя рабочим органом изменяемой жесткости, подтвержденные экспериментально [2]. Более детальный анализ ситуации требует обобщения подхода к задаче о движении активной области слоя под воздействием уплотняющей

силы, что позволит расширить спектр рассматриваемых зависимостей внешней силы от времени, выявив наиболее эффективные с точки зрения накопления необратимых деформаций грунтом режимы внешнего динамического воздействия, максимально учитывающие эволюцию характеристик слоя грунтовой среды с уплотнением.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «РАБОЧИЙ ОРГАН-ГРУНТ» В РАМКАХ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОДХОДА СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ

На первом этапе моделирования рассмотрим описание взаимодействия рабочего органа с единственным участком среды, обладающим жесткостью, вязкостью и массой, сосредоточенной в его центре тяжести, а также с возможностью перехода к пластическому деформированию при достижении силой известного значения, определяемого предельными параметрами грунтовой среды. Характеристики указанного участка среды – эффективного объема или активной области предполагаются непостоянными и зависящими от текущего значения величины деформации слоя явно или неявно, в общем случае нелинейным образом. Кроме этого модель должна обладать «памятью», то есть учитывать «историю» уплотнения, что может быть сделано принудительно, введя функциональные зависимости для модулей упругости, деформации и коэффициента динамической вязкости среды от плотности, которой обладает среда к заданному моменту времени. Традиционно эти характеристики выбираются зависящими от безразмерного коэффициента уплотнения среды. Это позволяет не конкретизировать тип среды, его гранулометрический состав, содержание воды и т.д. Однако проводить описание движения активной области среды, используя в качестве координаты коэффициент уплотнения, в рамках предлагаемого подхода не представляется целесообразным в силу нескольких факторов:

- коэффициент уплотнения является интегральной характеристикой процесса уплотнения и зависит от величины накопленной грунтовым слоем пластической деформации за всю предшествующую историю уплотнения;
- значение текущего коэффициента уплотнения для активной области грунтового слоя сложным образом зависит от величины деформации в заданный момент времени, что существенно усложняет уравнения, получающиеся в результате моделирования;

- коэффициент уплотнения является величиной, которую практически невозможно измерить в реальном времени при проведении экспериментальной проверки результатов моделирования.

Рабочий орган будем рассматривать также в рамках подхода сосредоточенных параметров, считая в общем случае обладающим конечными жесткостью и вязкостью, также нелинейно зависящей от величины деформации. Переход к жесткому рабочему органу при этом не представляет сложности, кроме этого предложенный подход позволяет органично включить в рассмотрение действие на грунт при уплотнении со стороны рамы дорожной машины и ее подвески.

В качестве уравнения движения активной области грунтового слоя будем рассматривать получающееся из принципа наименьшего действия уравнение Эйлера-Лагранжа [3] для одномерного движения материальной точки, моделирующей сосредоточенную массу активной области. Воспользуемся подходом, позволяющим реализовать как диссипативные силы вязкого трения, возникающие при движении грунта, так и силу сухого трения, описанным в [4].

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = F(x, \dot{x}, t) + F_{mp}, \quad (1)$$

где $T(x, \dot{x}) = \frac{m(x)\dot{x}^2}{2}$ - кинетическая энергия

активной области грунта, $F(x, \dot{x}, t)$ – силы, действующие на грунт, как внешние, обусловленные внешним динамическим нагружением со стороны рабочего органа, так и внутренние

силы упругости и вязкого трения, F_{mp} – отдельно выделенная сила трения, моделирующая элемент пластичности, включающийся при превышении контактным напряжением величины, определяемым пределом текучести грунта. Теория предельных состояний допускает кратковременное превышение контактным напряжением значения, соответствующего пределу прочности образца без перехода к разрушению [5]. Необходимо отметить, что при переходе к пластическому деформированию упругая составляющая силы сопротивления исчезает, так что сила сопротивления становится постоянной. Здесь предполагается, что обобщенная координата x представляет собой смещение по отношению к положению равновесия центра масс активной области, функционально связанное со смещением по-

верхности слоя при динамическом воздействии.

Отличием предлагаемого подхода от традиционного выступает рассмотрение динамики массы эффективного объема грунта с деформированием, вызванное изменением площади пятна контакта из-за деформации рабочего органа, что имеет место, например, в случае пневмошинных вальцов, или, вызванное не только изменением площади пятна контакта, но и изменением ее формы, как в случае рабочего органа конечного радиуса кривизны. В этом случае правая часть выражения (1) с учетом принятых допущений примет вид

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{d}{dt} (m(x)\dot{x}) - \frac{\partial m(x)}{\partial x} \frac{\dot{x}^2}{2} = m(x)\ddot{x} + \frac{\partial m(x)}{\partial x} \frac{\dot{x}^2}{2}, \quad (2)$$

демонстрируя по сравнению с уравнением движения для эффективного объема постоянной массы, построенного в [1]. Даже в том случае, если масса активной области слоя грунтовой среды изменяется с деформацией слабо, так что производной по координате можно пренебречь, собственно зависимость массы от смещения, достаточно сложная даже в простых ситуациях, сильно усложняет уравнение движения. Примером этого может служить случай жесткого вальца в форме кругового цилиндра, рассмотрение взаимодействия которого с грунтовым слоем имеет широкое практическое приложение.

Упругая или квазиупругая сила сопротивления слоя упруговязкопластичной среды при поверхностном нагружении также предполагается в общем случае нелинейной по деформации. Нелинейная зависимость силы от деформации моделируется зависящей от величины смещения жесткостью грунта

$$F_{ynp} = c(x)x, \quad (3)$$

остающейся главной линейной частью по малому смещению x при вычислении силы в потенциальном поле упругости в лагранжевом формализме

$$U_{ynp} = \frac{c(x)x^2}{2},$$

которая дает в общем случае выражение

$$F_{ynp} = c(x)x + \frac{\partial c(x)}{\partial x} \frac{x^2}{2}, \quad (4)$$

переходящее в (3) при слабой зависимости жесткости эффективного объема от смещения и возможности пренебречь вторым слагаемым.

Дальнейшее моделирование упругих свойств грунтовой среды требует учета следующих экспериментальных фактов:

1) В зависимости от характера нагружения упругие свойства грунтового слоя изменяются – при разгрузке (убывании напряжений, обусловленных внешними силами) сила сопротивления зависит только от упругой составляющей модуля деформации, а при нагружении – от модуля полной деформации. Отметим, что для применяемых в дорожном строительстве супесчаных и суглинистых грунтов модуль упругости составляет в модуле деформации долю 0.1-0.3

2) После снятия деформирующего воздействия грунтовой слой не испытывает отрицательных деформаций – сосредоточенный жесткий элемент, моделирующий грунт не испытывает растяжения.

Указанные свойства можно учесть при моделировании, введя для описания упругих свойств грунтовой среды следующие соотношения:

$$\sigma_{def} = E\varepsilon, E = (E_{pl}\theta(\dot{\sigma}) + E_{el})\theta(\sigma_{pl}), \quad (5)$$

где E_{pl} - модуль пластической деформации среды слоя, E_{el} - модуль упругой деформации среды слоя, $\dot{\sigma}$ – скорость нарастания напряжений, характеризующая нагружение,

$\theta(z)$ - θ – функция Хевисайда, σ_{pl} - предел пластичности среды слоя. Для перехода к сосредоточенным элементам это эквивалентно переходу к силе сопротивления и жесткостям для пластической и упругой деформации:

$$\begin{aligned} F_{def} &= c(x)x, c(x) = \\ &= (c_{pl}(x)\theta(\dot{\sigma}) + c_{el}(x))\theta(\sigma_{pl}). \end{aligned} \quad (6)$$

Способы вычисления сосредоточенных жесткостей для различных форм активной области и вида пятна контакта приведены в предыдущих параграфах. Следует указать, что жесткости вычисляются таким образом, чтобы

сила квазиупругого сопротивления зависела от смещения центра масс активной области, а не от смещения поверхности грунта.

Вязкое сопротивление активной области грунтовой среды, моделируемое элементом вязкого трения, описывается определяющим соотношением

$$\sigma_{visc} = \eta \dot{\varepsilon},$$

приводящим к известному выражению для сосредоточенной вязкости

$$F_{visc} = b(x)\dot{x},$$

причем необходимо отметить, что зависимость от смещения поверхности грунтового слоя, и, соответственно, от смещения его центра масс у сосредоточенной вязкости выражена слабо. Это объясняется тем, что площадь боковой поверхности активной области, от которой зависит сила вязкого трения, меняется медленно при смещении поверхности грунтового слоя.

Пластическое деформирование без восстановления испытывается средой при превышении контактным напряжением значения предела текучести, характерного для текущего состояния упруговязкопластичной среды слоя. В рамках представляемой модели оно учитывается введением в систему сосредоточенных параметров, описывающих активную область грунтового слоя элемента сухого трения, порождающего при условии

$$\sigma(t) \geq \sigma_{pl}, \quad (7)$$

где $\sigma(t)$ - текущее значение контактного давления, постоянную силу сопротивления, не зависящую от величины деформации с одновременным прекращением действия упругих или квазиупругих сил (5), (6). Для той области грунтового слоя, в которой условие (7) выполняется, сила сопротивления может быть представлена в виде

$$F_{fr}(t) = S_{cont}(t)\sigma_{pl},$$

где $S_{cont}(t)$ - площадь пятна контакта рабочего органа уплотнителя и поверхности грунтового слоя.

Таким образом, уравнение движения участка активной области грунтового слоя в общем виде (2) может быть переписано с учетом модельных допущений, описанных выше

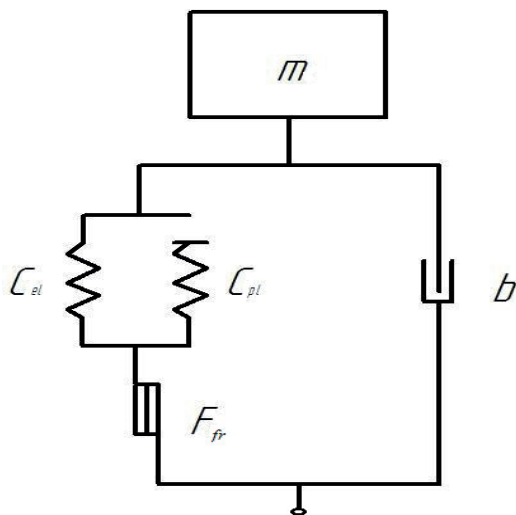


Рисунок 1 – Однотельная модель активной области грунтового слоя при взаимодействии с рабочим органом уплотнителя

$$m(x)\ddot{x} + \frac{\partial m(x)}{\partial x} \frac{\dot{x}^2}{2} = -(c_{pl}(x)\theta(\dot{\sigma}) +$$

$$= -(c_{pl}(x)\theta(\dot{\sigma}) + c_{el}(x))(1 - \theta(\sigma_{pl}))x -$$

$$-b(x)\dot{x} - \frac{\dot{x}}{|x|} \theta(\sigma_{pl})S_{cont}(t)\sigma_{pl} + F_{ext}(t) \quad (8)$$

Здесь $F_{ext}(t)$ - внешняя сила, воздействующая на поверхность грунтового слоя со стороны уплотнителя, зависимость которой от времени определяется технологическими особенностями устройства и, с точки зрения моделирования, является варьируемой для достижения максимальной эффективности уплотнения. С точки зрения подхода сосредоточенных параметров предлагаемая модель активной области грунтового слоя моделируется однотельной конфигурацией, представляющей комбинацию нелинейного тела Ньютона, нелинейного тела Гука с отключаемой жесткостью по отношению к характеру поверхностного нагружения и тела Прандтля, как показано на рис. 1. Построенная модель является удобной для исследования и эффективно иллюстрирует процесс уплотнения для различных типов внешнего воздействия.

Для перехода к многотельной модели, описанной в предыдущих главах, модель требует дополнения, учитывающего различный характер послойного деформирования участков толщи грунтовой среды. Многотельная модель

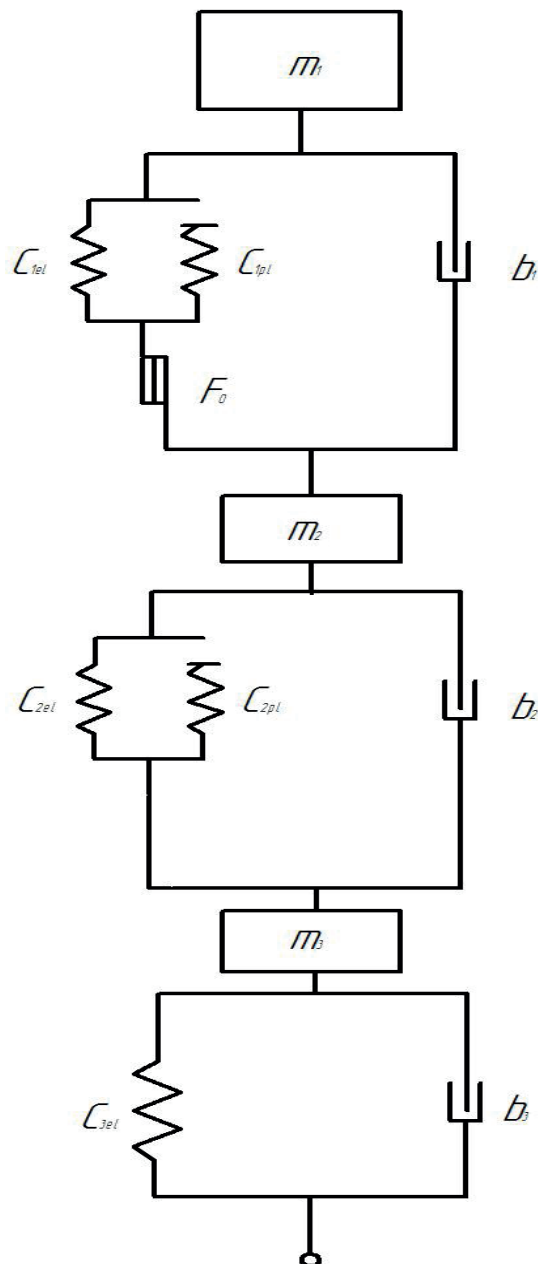


Рисунок 2 – Трехтельная модель активной области грунтового слоя при взаимодействии с рабочим органом уплотнителя

должна строиться с учетом различного характера развития напряженно-деформированного состояния участков грунтового слоя.

Общий вид уравнения движения (8) для каждого из участков грунтовой среды может быть модифицировано с учетом их взаимодействия и отклика на деформирующее воздействие.

Величинами, определяющими силу квазиупругого сопротивления последовательно взаимодействующих участков грунтового слоя, в

таком случае будут не собственно смещения центров масс участков относительно начального положения, определяемого параметрами модели, а относительные смещения смежных слоев.

Схематичное описание многотельной модели, характерной для представления взаимодействия активной области грунтового слоя с рабочим органом уплотнителя представлено на рис. 2.

Предложенная многотельная модель порождает систему дифференциальных уравнений, требующую совместного решения для определения величины накопленной пластической деформации. Индекс РО ниже относится к рабочему органу уплотнителя индексы 1,2,3 – к участкам активной области слоя грунта, находящегося под внешним силовым воздействием.

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{PO}\ddot{x}_{PO} = -c_{PO}(x_{PO})(x_{PO} - x_2) - b_{PO}(x_{PO})\dot{x}_{PO} + F_{ext}(t) \\ m_1(x_1)\ddot{x}_2 + \frac{\partial m_1(x_1)}{\partial x_1} \frac{\dot{x}_1^2}{2} = \\ = c_{PO}(x_{PO})(x_{PO} - x_1) - b_1(x_1 - x_2)(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - \frac{\dot{x}_1 - \dot{x}_2}{|\dot{x}_1 - \dot{x}_2|} \theta(\sigma_{pl}) S_{cont}(t) \sigma_{pl} \\ m_2(x_2)\ddot{x}_2 + \frac{\partial m_2(x_2)}{\partial x_2} \frac{\dot{x}_2^2}{2} = \\ = \frac{\dot{x}_1 - \dot{x}_2}{|\dot{x}_1 - \dot{x}_2|} \theta(\sigma_{pl}) S_{cont}(t) \sigma_{pl} - (c_{2pl}(x_2) \theta(\dot{\sigma}) + c_{2el}(x_2))(1 - \theta(\sigma_{pl}))(x_2 - x_3) - b_2(x_2 - x_3)(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) \\ m_3(x_3)\ddot{x}_3 + \frac{\partial m_3(x_3)}{\partial x_3} \frac{\dot{x}_3^2}{2} = \\ = (c_{2pl}(x_2) \theta(\dot{\sigma}) + c_{2el}(x_2))(1 - \theta(\sigma_{pl}))(x_2 - x_3) - c_{3el}(x_3)x_3 - b_3(x_3)\dot{x}_3 \end{array} \right. \quad (9)$$

В этой системе уравнения отвечают последовательно рабочему органу, области грунта, испытывающей нагрузку, создающую механические напряжения, обеспечивающие пластические деформации без реализации упругой силы сопротивления, области грунта с различными упругими свойствами для нагружения и разгрузки, и области слоя с идентичными упругими свойствами для нагружения и разгрузки.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ МНОГОТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Система уравнений (9) является нелинейной и требует для своего решения применения численных методов. Следует отметить, что для исследования процесса накопления пластических деформаций толщей слоя грунта при поверхностном нагружении важную роль играет как собственно эволюция поверхности грунта при воздействии уплотняющего усилия, так и перераспределение характеристик участков активной области грунтового слоя. При этом интерес представляет не только величина пластической деформации, накопленная к заданному моменту времени, но и средняя за период приложения воздействия деформация, позволяющая определить скорость пластического деформирования. Эта величина позволяет судить об эффективности процесса уплотнения и ее исследования в зависимости от характера режима внешнего воздействия и особенностей рабочего органа позволяют сделать рекомендации по обоснованию выбора режима уплотнения и характеристик рабочих органов уплотнителей.

Для нахождения решения системы (9) предлагается использовать алгоритм, учитывающий следующие предварительные соображения.

1. Характеристики активной области (эффективного объема) уплотняемого слоя грунта можно определить аналитически или численно.

2. Физико-механические и деформационные характеристики рамы уплотнителя, рабочего органа и генератора поверхностного динамического воздействия считаются известными. Зависимость внешней силы $F_{ext}(t)$ задана.

3. Процессы в толще слоя будем считать квазистационарными, так что значение силы внешнего воздействия передается в толщу слоя без задержки. Для статических режимов нагружения такое приближение является допустимым без оговорок. Для случая вибрационного уплотнения предел применимости приближения лежит в диапазоне толщины слоев, меньших по сравнению с длиной упругих волн, возбуждаемых в толще грунта.

Выбор шага по времени является важным ходом в процессе реализации разностной схемы, осуществляющей численное решение системы (9). Переход к конечным приращениям в рамках предложенной схемы можно построить традиционно [6], представив производные смещений первого и второго порядка в виде отношения конечных величин

$$\dot{x}_i^{(k+1)} = \frac{x_i^{(k+1)} - x_i^{(k)}}{\Delta t}$$

$$\ddot{x}_i^{(k+2)} = \frac{x_i^{(k+2)} - 2x_i^{(k+1)} + x_i^{(k)}}{\Delta t^2},$$

где верхний индекс задается номером интервала в разбиении по времени, отвечая соответствующему шагу разбиения, а нижний индекс – номеру сосредоточенной массы, соответствующей участку активной зоны уплотняемого грунта, характеристики которого зависят от типа реализуемой модели.

Производные входящих в систему величин по координатам (смещениям из положения равновесия), хотя и имеют достаточно сложный вид, но могут быть вычислены без особых затруднений. При использовании для реализации численного алгоритма систем компьютерной алгебры задача становится достаточно легко разрешимой.

Предлагаемый алгоритм можно описать, конкретизируя схему эволюционно модели грунтовой среды, следующим образом (для определенной области контакта рабочего органа со слоем грунта считаем плоской полосой):

1. На первом шаге задаются характеристики рабочего органа и параметры режима поверхностного динамического воздействия на слой грунтовой среды, а также функциональные зависимости характеристики среды от плотности (коэффициента уплотнения);

2. Второй шаг предусматривает определение ширины пятна контакта рабочего органа с поверхностью слоя и вычисления начального значения контактного давления, предшествующего моменту начала динамического воздействия;

3. По значению контактного давления вычисляется количество и физико-механические параметры участков активной зоны грунтового слоя, реализующих различные однотельные модели;

4. Строится система уравнений (9) с учетом результатов, полученных в п.3;

5. Реализуется численная схема интегриро-

вания системы (9), получающаяся переходом к конечным приращениям смещений, причем для каждого последующего момента времени (с учетом шага) производится вычисление параметров участков активной зоны слоя, позволяющее выявить динамику процесса;

6. Данные о величинах смещений участков активной зоны и их характере сохраняются;

7. Определяется накопленная к заданному моменту времени суммарная пластическая деформации грунтового слоя и вычисляется средняя скорость ее накопления;

8. Пересчитываются характеристики среды грунтового слоя с учетом величины накопленной пластической деформации для перехода к следующему циклу воздействия (проходу дорожной машины).

Реализация данного подхода сводит задачу к линейной, поскольку коэффициенты уравнений, способные содержать сложные зависимости от координат входят в уравнения системы, переопределяемые на каждом шаге, в качестве констант, значения которых вычисляется с учетом деформации участков активной области [7].

Помимо указанных величин предлагаемый алгоритм позволяет оценить энергоэффективность процесса уплотнения долей мощности, затрачиваемой на пластическое деформирование слоя.

Необходимо отметить, что помимо средней за цикл скорости накопления пластической деформации

$$\bar{v}_{pl}^{total} = \frac{\Delta x_{pl}^{total}}{\Delta t^{total}}$$

и ее абсолютного значения, в качестве измеряемой величины, показывающей эффективность уплотнения, может быть использована легко вычисляемая скорость накопления

$$v_{pl}^{(i)} = \frac{\Delta x_{pl}^{(i)}}{\Delta t_i},$$

определяемая на i -м шаге численного решения системы (9) как отношение пластической деформации, приобретаемой слоем на этом

шаге к шагу по времени Δt_i , определенному при формулировании исходных условий. Эта скорость может быть измерена с использованием устройств непрерывного контроля укатки (уплотнения), применяемых для анализа хода протекания технологического процесса уплотнения в реальном времени, например [8 – 10].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михеев В.В., Савельев С.В. Исследование влияния деформации адаптивного рабочего оборудования дорожного катка на процесс деформирования уплотняемого грунта // Строительные и дорожные машины. – 2013. – №7. – С. 45-51.
2. Савельев С.В. Развитие теории и совершенствование конструкций вибрационных катков с пневмошинными рабочими органами: дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.04 / Савельев Сергей Валерьевич. – Омск, 2014. – 326 с. :152 ил.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Наука, 1973. 208 с. («Теоретическая физика», том I).
4. Козлов В. В. Лагранжева механика и сухое трение // Нелинейная динам. – 2010. – Том 6. – № 4. С. 855–868.
5. Мангушев, Р. А. Механика грунтов : учебник / Р. А. Мангушев, В. Д. Карлов, И. И. Сахаров. – М. : АСВ, 2009 (Курган). – 264 с. : ил.
6. Бахвалов Н. С. Численные методы : учебное пособие / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков,

Г. М. Кобельков; МГУ им. М. В. Ломоносова. – 3-е изд., доп. и перераб. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 636 с.

7. Тюремнов И.С., Игнатьев А.А. Расчёт распределения напряжений в грунтах с линейным законом изменения плотности по глубине от динамической поверхностной нагрузки // Строительные и дорожные машины. – 2013. – № 1. – С. 40.

8. Михеев В.В., Савельев С.В., Бурый Г.Г. Устройство непрерывного контроля качества уплотнения грунта. Патент на изобретение №2500855- МПК 02D3/026 (2006.01) E01C19/23 (2006.01) E01C23/07 (2006.01). Заявка №2012121230/03, Заявлено: 23.05.2012; Опубликовано: 10.12. 2013.

9. Тюремнов И.С., Морев А.С. Разработка системы непрерывного контроля уплотнения грунта для вибрационных катков // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2014. – Т. 1. – С. 205-207.

10. Тюремнов И.С., Чабуткин Е.К., Окулов Р.Д. Интеллектуальные катки – интеллектуальное уплотнение // Строительные и дорожные машины. – 2008. – № 8. – С. 2-8.

MODELING OF PROPERTIES OF DEFORMABLE SOIL MEDIA DURING COMPACTION BY CYLINDRICAL ROLLER DRUMS MATHEMATICAL MODELING OF COMPACTION FOR ELASTOVISCOPLASTIC SOIL MEDIA CAUSED BY THE INTERACTION WITH WORK TOOL OF COMPACTING MACHINE IN THE FRAMEWORK OF MODIFIED APPROACH OF LUMPED PARAMETERS

V.V.Mikheyev, S.V.Saveliev

Abstract. Article deals with the problem of mathematical modeling of mechanical interaction for the system “active volume of the soil layer – work tool of the compactor”. The problem is suggested to be solved in the framework of the modified approach of lumped parameters. Effective mathematical model was constructed and possibility of its numeric realization was discussed.

Keywords: soil compaction, rigid drum, modeling of mechanical properties, soil stiffness, elastic-viscous-plastic media.

REFERENCES

1. Mikheyev V.V., Saveliev S.V. Investigation of influence of deformation of adaptive work tools of a roller on deformation processes in the soil // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. №7, 2013. -С. 45-51
2. Saveliev S.V. Development of theory and advancement of design for vibratory road rollers with pneumatic work tools: doctor of technical

science thesis – Omsk, 2014.

3. Landau L.D., Livshits I.M. Mechanics. Nauka, 1973. 208 P. («Theoretical physics», vol. I).

4. V.V.Kozlov Lagrange mechanics and dry friction //Nonlinear dynamics, 2010, vol. 6, № 4, pp. 855–868

5. R. A.Mangusev, V.D. Karlov, I.I. Sakharov. Soil Mechanics. ASV, 2009 – 264 P.

6. N.S.Bakhvalov, N.P. Zhidkov, G.N. Kobelkov. Numeric methods, BINOM. 2004. -636 P.

7. Turemnov I.S., Ignatiev A.A. Raschet raspredeleniya napryazheniy v gruntach s lineynim zakonom izmnteniya plotnosti po glubine ot dinamicheskoy poverhnostnoy nagruzki / Stroitelnie I dorozgnie mashiny. M. – 2013. № 1. C. 40.

8. Mikheyev V.V., Saveliev S.V. Buriy G.G. Device for continuous compaction control. Invention patent №2500855 МПК 02D3/026 (2006.01) E01C19/23 (2006.01) E01C23/07 (2006.01).

9. Turemnov I.S., Morev A.S. Razrabotka sistemy nepreryvnogo kontrolya uplotneniy grunta dlya vibratsionnykh katkov / Modernizatsiya I nauchnie issledovaniya v transportnom komplekse. 2014. T. 1. C. 205-207.

10. Turemnov I.S., Chabutkin E.K., Okulov R.D. Intellekturnye katki – ntellektualnoe uplotnenie –/ Stroitelnie I dorozgnie mashiny. M. – 2008. № 8. C. 2-8.

Михеев Виталий Викторович (Омск, Россия) – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Комплексная защита информации» ФГБОУ ВПО «ОмГТУ» (644055,

г. Омск, пр. Мира, 11 к.8, e-mail: vvm125@mail.ru)

Савельев Сергей Валерьевич (Омск, Россия) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно – технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: saveliev_sergval@mail.ru)

Vitaly V. Mikheyev (Omsk, Russian Federation) – Ph. D. Physical and Mathematical Sciences, Ass. Professor, Department of Complex Information Protection, Omsk State Technical University (644055, Prospect Mira, 11/8, Omsk, Russian Federation, e-mail: vvm125@mail.ru)

Serguey V. Saveliev (Omsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Operation and Maintenance of Transportation and Technological Machines and Complexes, Siberian State Automobile and Highway Academy “SibADI (644080, Prospect Mira, 5, Omsk, Russian Federation, e-mail: saveliev_sergval@mail.ru)

=====

УДК 621.879.48

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА КОПАНИЯ ГРУНТОВ МОДЕРНИЗИРОВАННЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ ПОД ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ

С.Дж.Тургумбаев¹, Р.А.Кабашев²

¹Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызстан, г. Бишкек

²Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б. Гончарова, Казахстан, г. Алматы

Аннотация. В результате проведенных на стенде экспериментальных исследований по копанию связных грунтов под гидростатическим давлением модернизированными плоскими отвалами, имеющими продольные зазоры вблизи режущей кромки, установлено существенное снижение сопротивления копанию по сравнению с копанием в тех же условиях традиционными плоскими отвалами. Указано, что такое снижение сопротивления копанию грунтов происходит за счет проникания водной среды через продольный зазор на переднюю грань отвала, которая существенно уменьшает коэффициент трения между передней гранью отвала и грунтовым пластом. Экспериментальные исследования проведены на стенде физического моделирования для изучения процесса копания грунтов плоскими отвалами под гидростатическим давлением. Глубина погружения рабочего органа в водную среду моделировалась созданием соответствующего гидростатического давления в герметичном корпусе стенда.

Ключевые слова: плоский отвал, продольный зазор, режущая кромка, гидростатическое давление, копание грунта.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во многих странах широкое распространение получает освоение

шельфовой зоны океанов, дна озер, водохранилищ, водных бассейнов. Ведутся исследования по разработке устройств, позволяющих

вести земляные работы (планировка, отрывка котлованов, прокладка трубопроводов и кабелей) на дне водоемов [1,2]. Возрастает объем строительства в связи с ростом добычи полезных ископаемых со дна морей и океанов, сооружением крупных портов, проведением дноуглубительных работ, сооружением плантаций для выращивания морских организмов и т.п. [3,4]. Практическая глубина разработки грунтов достигает 100 м и более. Сложным процессом в технологической цепи производства этих работ является копание грунтов в подводной среде [5,6]. Энергоемкость копания грунтов с ростом глубины разработки возрастает за счет влияния гидростатического давления жидкой среды на процесс копания [7]

Решение таких задач связано с созданием высокоэффективных средств механизации на основе улучшения процессов взаимодействия с грунтом рабочих органов под гидростатическим давлением. Использование традиционных рабочих органов землеройных машин ограничено возрастанием энергоемкости копания связных грунтов по мере роста глубины погружения (гидростатического давления). В связи с этим актуальной задачей становятся исследования, позволяющие снизить вредное воздействие гидростатического давления водной среды на процесс копания грунтов в подводной среде.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для исследования процесса копания грунтов по выявлению возможностей снижения энергоемкости копания отвалными рабочими органами землеройных машин под гидростатическим давлением проведены экспериментальные исследования на стенде физического моделирования (рисунки 1 и 2), выполненного на уровне изобретения [8]. Стенд позволяет моделировать глубину погружения рабочих органов землеройных машин и грунта в воду, глинистый раствор и другие жидкие среды.

Стенд состоит из двух основных блоков: рабочей камеры с механизмом привода и блока давления.

Рабочая камера состоит из герметического корпуса 1, внутри которого находится исследуемый рабочий орган 2, закрепляемый на продольной направляющей 7 посредством Г-образного тензозвена 5, позволяющего определять касательную и нормальную составляющие сопротивления копанию грунтов. Продольная направляющая 7 вместе с рабочим органом 2 перемещается с помощью винтовой передачи

17, приводимой в действие от электродвигателя постоянного тока 15 через клиноременную передачу 16. Скорость резания изменяется за счет изменения входного напряжения электродвигателя. В корпусе имеются боковой иллюминатор 6 для наблюдения, фото- и киносъемки процесса копания грунта, люк 8 для установки грунтового контейнера 10 и рабочего органа 2, верхние иллюминаторы 4 для освещения рабочей камеры, а также пробка 9 для слива жидкости из камеры. В камере установлены манометр 12 и датчик давления 11.

Блок давления состоит из рамы 19 с направляющими 20, вертикального цилиндра 23 с поршнем и штоком, соединенным с грузовой платформой 21, на которой находятся тарированные грузы. Грузовая платформа поднимается в верхнее положение лебедкой 18. Для разделения жидкости, наполняющей рабочую камеру и масла, наполняющего вертикальный цилиндр, в трубопроводе 14 установлена разделительная диафрагма 13. Блок давления снабжен системой подпитки жидкости, состоящей из емкости 24 и обратных клапанов 22.

Параметры рабочей камеры были приняты из условий исключения влияния боковых стенок камеры на исследуемый процесс. Из гидродинамики и аэродинамики известно, что соотношение размера сечений модели рабочего органа к сечению камер должно составлять не более $1/20$. В данной камере с сечением 70×80 см возможно проведение экспериментов с физическими моделями рабочих органов с сечением в плоскости перпендикулярной к направлению движения до 180 см^2 .

Пуск стенда в работу осуществляется следующим образом. Грузовая платформа устанавливается в верхнем положении и в рабочую камеру заливается жидкость (вода, глинистый раствор). Грузовая платформа под действием силы тяжести тарированных грузов через шток давит на поршень вертикального цилиндра, создавая тем самым гидростатическое давление в нем, которое передается через диафрагму и трубопровод в рабочую камеру, моделируя погружение рабочего органа. При этом в рабочей камере поддерживается стабильное гидростатическое давление жидкости и осуществляется процесс копания грунта. После окончания опыта, поднимая грузовую платформу, снимают гидростатическое давление в рабочей камере и сливают жидкость для подготовки грунта и рабочего органа к последующему опыту.

Основное достоинство данного стенда состоит в том, что его конструкция обеспечива-

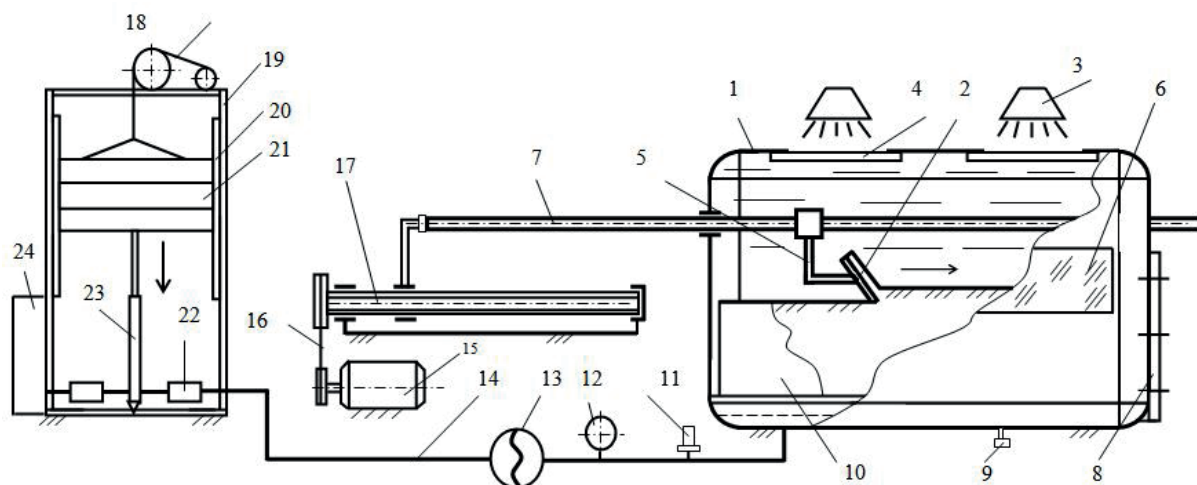


Рисунок 1 – Экспериментальный стенд для исследования процесса копания грунтов под гидростатическим давлением: 1-корпус рабочей камеры; 2-рабочий орган (плоский отвал); 3-лампа освещения; 4-верхний иллюминатор; 5-тензозвено; 6-боковой иллюминатор; 7-продольная направляющая; 8-крышка люка; 9-пробка для слива; 10-грунтовой контейнер; 11-датчик давления; 12- манометр; 13-диафрагма для отделения масла от водной среды; 14-трубопровод; 15-электродвигатель; 16-ременная передача; 17-винтовая передача; 18-грузовая лебедка; 19-рама блока давления; 20-направляющая; 21-грузовая платформа; 22-обратный клапан; 23- вертикальный цилиндр; 24-емкость для масла

ет стабильное гидростатическое давление в рабочей камере, не зависящее от утечек жидкости из корпуса камеры, чем достигается высокая точность измерений при исследовании процесса подводного копания грунтов путем моделирования глубины расположения рабочего органа под водой.

В качестве рабочих органов для сравнительных экспериментов приняты плоские отвалы: традиционный (рис. 3) и модернизированный (рис. 4). Отвалы обеих рабочих органов имели одинаковые размеры по ширине (по 100 мм) и длине (тоже по 100 мм). Отличием модернизированного рабочего органа от традиционного является наличие продольного зазора вблизи режущей кромки. Для этого в модернизированном рабочем органе режущая кромка отвала прикреплена к передней части отвала с продольным зазором (около 1 мм) между ними. Такие конструкции модернизированных рабочих органов обеспечивают передачу гидростатического давления непосредственно на контактную поверхность между грунтовой стружкой и передней гранью отвала путем поступления водной среды через продольный зазор на переднюю грань отвала. Водная среда, кроме того, перемещаясь с движущимся грунтовым пластом вверх по отвалу образует водяную прослойку между передней гранью отвала и грунтовым пластом, существенно уменьшая, тем самым, коэффициент трения между ними.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования проводились на связном суглинистом грунте, не обладающем фильтрационными свойствами. Глубина проникания воды в суглинистый грунт за время проведения экспериментов была незначительной и не превышала 1,2 мм.

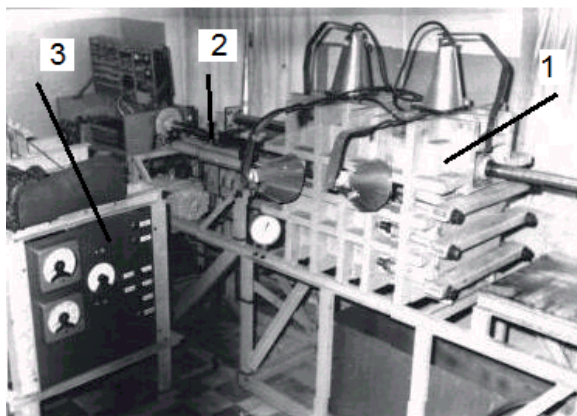


Рисунок 2 – Фото экспериментального стенда для исследования процесса копания грунтов под гидростатическим давлением: 1 – рабочая камера; 2 – привод; 3 – блок давления

На рис. 5 представлены результаты экспериментальных исследований. Линии 1 и 2 отражают зависимости сопротивления копа-

нию грунта плоскими отвалами традиционного типа, линии 3 и 4 – зависимости сопротивления копанию грунта модернизированными плоскими отвалами.

В результате проведенных экспериментов с плоскими отвалами традиционного типа установлено качественное отличие физической картины процесса копания связного грунта под гидростатическим давлением от обычного «сухого» резания. Гидростатическое давление, воздействуя на грунт, создает дополнительную пригрузку в зоне его разрушения плоским отвалом и на его передней грани образовывалась в основном сливная стружка, которая плотно прижималась к передней грани отвала и скользила по нему. При «сухом» резании отделенная стружка поднималась, касаясь небольшой площадки в зоне режущей кромки отвала, и падала вниз. Исследованиями установлено, что гидростатическое давление существенно влияет на сопротивление грунта копанию. Так, при угле резания 45° , характерном для рабочих органов многих землеройных машин, гидростатическом давлении 1,0 МПа, касательная составляющая сопротивления копанию возросла в 3,4 раза по сравнению с «сухим» копанием (линии 1 и 2, рис. 5). Глубина резания при этом составляла 1,5 см, прочность грунта по числу ударов плотногомера ДорНИИ $C = 4$, скорость копания 2,0 см/с. Увеличение касательной составляющей сопротивления копанию связного грунта от гидростатического давления происходит за счет дополнительной пригрузки в зоне разрушения грунта и на поверхности подъема отвала, которая увеличивает силу трения грунта о переднюю грань отвала и о грунт по поверхностям скольжения.

Результаты экспериментальных исследований с модернизированными плоскими отвалами показали (рис. 5), что касательная составляющая сопротивления копанию грунта под гидростатическим давлением существенно снижается по сравнению с копанием грунтов традиционными плоскими отвалами. При гидростатическом давлении 1,0 МПа, глубине копания $h=2$ см, прочности грунта по числу ударов плотногомера ДорНИИ $C = 4$, скорости копания 2,0 см/с и угла резания 45° , сопротивление копанию грунта для модернизированного отвала составляло $F=1,43$ кН (линия 4), для традиционного отвала – $F=3,12$ кН (линия 1). Уменьшение касательной составляющей сопротивления копанию грунта составляло в 2,1 раза. Уменьшение сопротивления копанию грунтов с модернизированными плоскими

отвалами по сравнению традиционными плоскими отвалами происходит за счет поступления водной среды через продольный зазор на переднюю грань отвала, где между грунтовым пластом и передней гранью плоского отвала образуется водяная прослойка, которая существенно уменьшает коэффициент трения между ними.

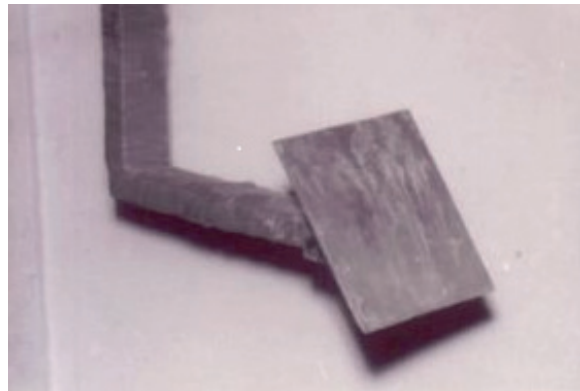


Рисунок 3 – Традиционный плоский отвал

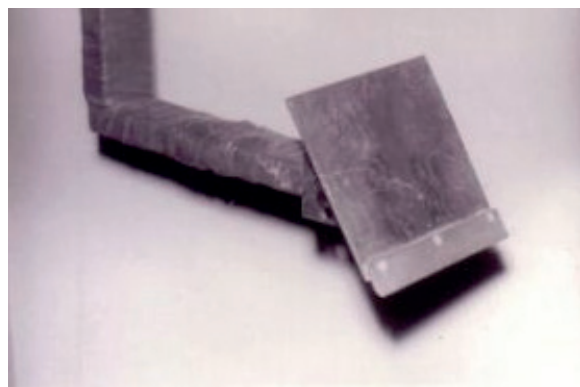


Рисунок 4 – Модернизированный плоский отвал

Как показали экспериментальные исследования с модернизированными плоскими отвалами, с увеличением гидростатического давления (глубины погружения рабочего органа в водную среду) повышаются значения сопротивления копанию грунта (линии 3 и 4, рис. 5). При гидростатическом давлении 0,25 МПа, глубине копания $h=2,5$ см сопротивление копанию грунта составляло $F=1,12$ кН (линия 3, рис. 5), а при гидростатическом давлении 1,0 МПа, той же глубине копания – $F=1,35$ кН (линия 4, рис. 5). Рост сопротивления копанию грунта составлял около 20 процентов. Такие пропорции роста сопротивления копанию грунта сохранились для других глубин копания. Например, при глубине копания $h=1,0$ см сопротивление копанию грунта для гидростатического давления 0,25 МПа составляло

$F=0,61$ кН, для гидростатического давления 1,0 МПа – $F=0,73$ кН.

Из графиков (рис.5) видно, что при копании грунтов под гидростатическим давлением модернизированными плоскими отвалами сопротивление копанию грунтов больше чем при «сухом» резании. При глубине копания $h=1,0$ см и $h=2,0$ см сопротивления копанию грунтов модернизированными плоскими отвалами под гидростатическим давлением 1,0 МПа составляли соответственно 0,48 кН и 1,21 кН (линия 4). В аналогичных условиях копания, но при «сухом» резании (линия 2), сопротивления копанию грунтов составляли 0,32 кН и 0,83 кН соответственно для глубин копания $h=1,0$ см и $h=2,0$ см. Это объясняется влиянием дополнительной пригрузки от гидростатического давления, действующей в зоне разрушения грунта и увеличивающей силу трения грунта по отвалу и по поверхности скольжения грунта.

Эффективность модернизированного плоского отвала была установлена и для малых значений прочности грунта. При прочности грунта $C = 1$ удар, глубине резания 0,7 см, угле резания 60° , скорости копания 3,6 см/с и гидростатическом давлении 0,5 МПа, сопротивление копанию (касательная составляющая) составляла 140 Н. Для этих же условий копания, но при $C = 3$ удара, сопротивление копанию было равно 470 Н.

Была оценена нормальная (вертикальная) составляющая сопротивления копанию грунтов модернизированным плоским отвалом. Так, при копании грунтов под гидростатическим давлением 0,5 МПа ($C = 3$ удара, глубина резания $h = 1,5$ см, угол резания 60° , скорость резания 4,4 см/с), значение касательной составляющей было равно 780 Н, а нормальной составляющей сопротивления копанию – 66 Н.

ледует отметить, что во всех экспериментах с модернизированными плоским отвалами, нормальная составляющая сопротивления копанию под гидростатическим давлением направлена вниз. При копании грунтов отвалами традиционного типа под гидростатическим давлением направление вертикальной составляющей сопротивления копанию изменялось от направления «вниз» на направление «вверх» за счет влияния силы трения, возникающей между отвалом и поднимаемой грунтовой стружкой. При попадании водной среды на контактную поверхность между передней поверхностью отвала и грунтовой стружкой, что имеет место при копании с модернизированным рабочим органом, происходит выравнивание гидростатического давления в зоне контактной поверхности, и вследствие этого, снижается сила трения.

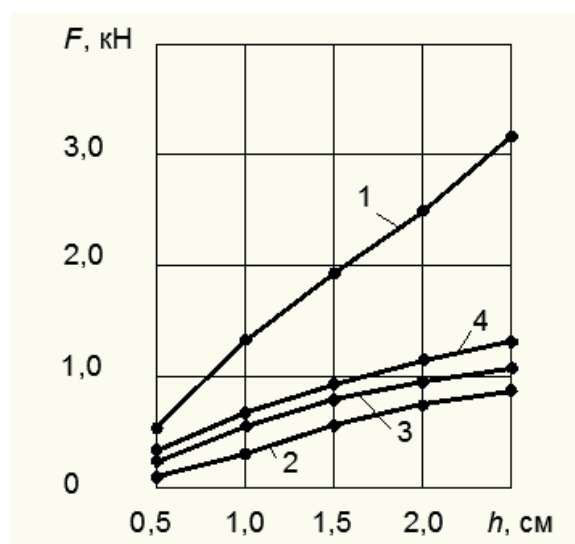


Рисунок 5 – Зависимости изменения касательной составляющей F сопротивления копанию грунта от глубины копания h : линии 1 и 2 – копание отвалом традиционного типа соответственно при гидростатическом давлении $p=1,0$ МПа и «сухом» резании; линии 3 и 4 – копание с модернизированным отвалом соответственно при гидростатическом давлении $p=0,25$ МПа и $p=1,0$ МПа (прочность грунта $C = 4$, угол резания 45° , скорость копания 2,0 см/с)

нивание гидростатического давления в зоне контактной поверхности, и вследствие этого, снижается сила трения.

Вывод: в результате экспериментальных исследований копания грунтов под гидростатическим давлением модернизированными плоскими отвалами подтвержден факт снижения энергоемкости копания связных грунтов путем обеспечения возможности проникновения водной среды в контактирующую поверхность между передней гранью отвала и грунтовым пластом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Добрецов, В.Б. Мировой океан и континентальные водоемы: минеральные ресурсы, освоение, экология / В.Б.Добрецов, В.А. Погалева, Д.С. Опрышко. – СПб. : Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2007. – 796 с.
- Setiwan R. Parametric Analysis on Off-shore Dredging Process using Cutter Suction Dredgers / R.Setiwan // ACEAN Engineering Journal. – 2015. – Part A, Vol 6, No 1– P. 37-46.
- Small Scale Dredging. – Boston: Lincolnshire, UK, 2014. – 21 p.

4. Вильман, Ю.А. Технология строительных процессов и взведения зданий. Современные и прогрессивные методы / Ю.А.Вильман – М. : АСВ, 2014. – 336 с.

5. Шепель, Т.В. Устройство для исследования кинематики и динамики глубоководного грунтоработывающего оборудования / Т.В.Шепель, А.В.Сычев // Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014: материалы междунар. конф., 27 – 28 мар. 2014 г. – Днепропетровск : НГУ, 2014. – С. 225 – 233.

6. Кадыров, А.С. Определение сил сопротивления движению рабочего инструмента фрезерной землеройной машины в глинистом

растворе / А.С.Кадыров, А.С.Нурмаганбетов // Строительные и дорожные машины. – 2012. – № 2. – С. 47-52.

7. Недорезов, И.А. Моделирование разрушения грунтов под гидростатическим давлением / И.А.Недорезов, Ж.Ж.Тургумбаев – Бишкек: Кыргызстан, 2000. – 153 с.

8. А. с. 655783 (СССР), МПК Е 02 F 3/92. Стенд для подводного резания грунтов / Недорезов И.А., Баловнев В.И., Ермилов А.Б., Тургумбаев Д.Д., Малоян Э.А.; Московский автомобильно-дорожный институт и Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства (СУ); № 2510106/29-03; заявл. 19.07.1977; опубл. 05.04.1979. Бюл. № 13. 3 с.

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESS OF SOIL DIGGING BY MODERNIZED WORKING BLADES UNDER HYDROSTATIC PRESSURE

S.Zh.Turgumbaev, R. A. Kabashev

Abstract. *As a result of the stand experimental studies on the digging of cohesive soils under hydrostatic pressure by the modern flat blade having a longitudinal gap near the cutting edge, a significant reduction of resistance to digging in comparison with digging in the same conditions the conventional flat blade was found. Provided that such reduction of the soil digging resistance is due to the penetration of the water through the longitudinal gap at the front face of the blade, which substantially reduces the coefficient of friction between the front face of the blade and a soil layer. The experimental studies conducted on the stand of physical modeling for study the process of digging the soil under hydrostatic pressure. The depth of immersion of the working body in the water was simulated by creation of a corresponding hydrostatic pressure in the hermetic chamber of the stand.*

Keywords: *flat blade, longitudinal gap, cutting edge, hydrostatic pressure, soil digging.*

REFERENCES

1. Dobretsov V.B. Mirovoi ocean i kontinentalnye vodoemy: mineralnye resursy, osvoenie, ekologiya [The world ocean and continental reservoirs: mineral resources, development, ecology]. SPb.: International Academy of Sciences of ecology, safety of man and nature, 2007. – 796 p.

2. Setiwan R. Parametric Analysis on Off-shore Dredging Process using Cutter Suction Dredgers / R.Setiwan // ACEAN Engineering Journal. – 2015. – Part A, Vol 6, no 1, pp. 37-46.

3. Small Scale Dredging. – Boston: Lincolnshire, UK, 2014. – 21 p.

4. Vielman J.A. Tekhnologia stroitelnyh protsessov i vzvedeniya zdaniy [Technology of building processes and cocking buildings. Modern and progressive methods]. M.: Publishing house ASV, 2014. – 336 p.

5. Shepel T.V. Ustroistvo dlia issledovaniya

kinematiki i dinamiki glubokovodnogo gruntora-zrabytvavshogo oborudovaniya [A device for investigation of kinematics and dynamics of deep-sea gruntoorabatyvayushchaja equipment]. Contemporary innovation technique of the engineering personnel training for the mining and transport industry 2014: proceedings of the international. Conf. 27 – 28 Mar. 2014 – Dnepropetrovsk: NMU, 2014. – pp. 225 – 233.

6. Kadyrov A.S. Opreделение sil soprotivleniya dvizheniu rabochego instrumenta frezernoй zemleroinoi mashiny v glinistom rastvore [Determination of the resistance to movement of the working milling machinery in clay open tools in solution]. Building and road machines. – 2012, no 2, pp. 47-52.

7. Nedorezov I.A., Turgumbaev J.J. Modelirovaniye razrusheniya gruntov pod gidrostaticheskim davleniem [Modeling of the destruction of the soil

under hydrostatic pressure]. Bishkek: Kyrgyzstan, 2000. – 153 p.

8. Author's certificate 655783 (USSR), IPC E 02 F 3/92. The stand for underwater cutting of soils / I.A.Nedorezov, V.I.Balovnev, A.B.Ermilov, J.J.Turgumbaev, E.A.Maloyan; The Moscow automobile road Institute and the all-Union scientific research Institute of transport construction (SU); No. 2510106/29-03; stated. 19.07.1977; publ. 05.04.1979. Bull. no 13 – 3 p.

Тургумбаев Санжарбек Дженишбекович (Бишкек, Кыргызстан) – старший научный сотрудник НИИ физико-технических проблем при КГТУ им. И.Раззакова (720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова, 66, e-mail: sanjar2000@mail.ru).

Кабашев Рахимжан Абылкасымович (Алматы, Казахстан) – доктор технических наук, профессор, ректор Казахской автомобильно-дорожной академии им. Л.Б.Гончарова (e-mail: kazadi@kazadi.kz).

Turgumbaev Sanzharbek Jenishbekovich (Bishkek, Kyrgyzstan) – Senior Researcher, Research Institute of Physical and Technical Problems under the KSTU named after I.Razzakov (720044, Bishkek, Ch.Aitmatov ave. 66, e-mail: sanjar2000@mail.ru).

Kabashev Rakhimzhan Abylkasymovich (Almaty, Kazakhstan) – doctor of technical Sciences, Professor, rector of the Kazakh automobile and highway Academy named after L.B.Goncharov (e-mail: kazadi@kazadi.kz).

=====

УДК 621.785

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНОУЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*В.Р. Эдигаров, Б.Ш. Алимбаева, П.С. Перков
Омский автобронетанковый инженерный институт, Россия, г. Омск*

Аннотация. Представлены результаты исследования комбинированной электромеханоультразвуковой обработки (ЭМУЗО), сочетающей термомеханическое воздействие электро-механической обработки и поверхностное пластическое деформирование ультразвуковой обработки. Приведены результаты исследования микротвердости и микрогеометрии поверхностного слоя образцов из различных марок стали, а также влияние некоторых технологических параметров на основные свойства стальной поверхности. Исследуемая технология комбинированной электромеханоультразвуковой обработки позволяет значительно повысить качество обработанной поверхности, увеличить твердость и снизить параметры шероховатости, сформировав тем самым благоприятный для трущихся пар микро- и макрорельеф.

Ключевые слова: комбинированная обработка, электромеханическая обработка, ультразвуковая обработка, поверхностный слой, поверхностное пластическое деформирование, термомеханическое влияние, высокоскоростное упрочнение.

ВВЕДЕНИЕ

Современные требования к деталям машин таковы, что традиционные методы обработки часто не позволяют эффективно получать необходимые параметры качества поверхностного слоя деталей в процессе обработки.

Большими потенциальными возможностями обладают комбинированные методы термомеханической, электрофизической, ионно-лучевой и других видов обработки, в основу которых положено использование высокопроизводительных режущих и деформирующих

инструментов, а также плазменных, электродуговых, электронных, ионных и других источников концентрированной энергии [1].

Одним из эффективных методов поверхностного упрочнения деталей машин является электромеханическая обработка (ЭМО), основанная на совместном электротермическом и деформационном воздействии [2]. В настоящее время разработано большое количество разновидностей электромеханической обработки (ЭМО), представляющих собой комбинацию различных высокоэнергетических воздействий на поверхность обрабатываемой

детали [3, 4]. Комбинация потоков энергии и вещества в процессе обработки обеспечивает условия, ведущие к стабилизации неравно-весных процессов, основой которых является поверхностное пластическое деформиро-вание в условиях трения скольжения при одно-временном пропускании электрического тока через зону контакта детали и инструмента.

В работе приведены результаты исследо-ваний (металлографических, физико-механи-ческих свойств и шероховатости поверхности) образцов обработанных электромеханоульт-развуковой обработкой (ЭМУЗО), являющейся комбинацией электромеханической (ЭМО) и ультразвуковой обработки (УЗО).

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Комбинированными методами обработки необходимо считать методы, в которых про-цесс преобразования, нанесения или удаления обрабатываемого материала происходит в ре-зультате двух и более воздействий, осущест-вляемых по своему механизму, параллельно, последовательно или параллельно-последо-вательно [5, 6]. При ЭМУЗО обработка осу-ществляется последовательным проведением операций ЭМО и УЗО, совмещенных в одной технологической схеме.

ЭМО осуществляется при термо-механическом воздействии на поверх-ность обрабатываемой детали с усили-ями прижатия рабочего инструмента к поверхности до 1500 Н и прохождением через зону контакта электрического тока большой величины до 2000 А и низкого напряжения до 6 В. При этом термическая обработка осущест-вляется на сверхвысоких скоростях нагрева и охлаждения до 10^5 °С/с. В качестве рабочего инструмента использовались пластины, за-крепленные неподвижно, а также вращающи-еся ролики из твердого сплава Т15К6.

УЗО осуществлялась магнитостриктором с частотой колебаний 22 кГц, прижимаемым к обрабатываемой поверхности с усилием до 1000Н.

В качестве объекта исследования были вы-браны стали 38ХС, 40Х ГОСТ 4543-71 и сталь 45 ГОСТ 1050-88 – стали с высокой прочно-стью, но умеренной вязкостью, предназна-ченные для изготовления деталей, к которым предъявляются требования высокой прочно-сти, упругости и износостойкости. Выбор этих сталей в качестве объекта исследования объ-ясняется их широким использованием в тяже-лом машиностроении и в частности в узлах многоцелевых гусеничных машин, к которым

предъявляются жесткие требования по надеж-ности, прочности и износостойкости. Образцы изготавливались из стали в нормализованном состоянии в виде плоских цилиндрических дисков диаметром 50 мм. Для ЭМУЗО была создана специальная установка на базе то-карного станка модели ИТ-1М. На установке обрабатывалась наружная цилиндрическая поверхность образца, закрепленного в оправ-ке. Выбор и варьирование основных техноло-гических факторов ЭМО и УЗО (сила тока I , скорость обработки V , подача S , усилие при-жатия рабочего инструмента P – для ЭМО; амплитуда колебания индентора, величина силы прижатия инструмента к обрабатывае-мой поверхности $P_{ст}$, величина динамического воздействия P , форма и радиус рабочей части инструмента, подача S и др. – для УЗО) осу-ществлялись на основании априорной инфор-мации.

Влияние комбинированной ЭМУЗО на ме-ханические свойства оценивали по измене-нию микротвердости поверхности образца. Для получения данных о характере изменения механических свойств по глубине зондируемо-го слоя, делали срез поверхности образца. В последующем производили внедрение инден-тора прибора ПМТ-3 по схеме через равные расстояния. По диагоналям полученных отпе-чатков рассчитывали микротвердость на опре-деленной глубине. По полученным значениям микротвердости строили зависимость микрот-вердости по глубине поверхностного слоя.

Параметры шероховатости определялись с использованием профилографа-профиломе-тра мод. 252.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ЭМО сопровождается высокоскоростной закалкой поверхностного слоя стальных об-разцов (на глубину до 0,2-0,3 мм) с образова-нием бесструктурного мартенсита – гардени-та, отличающегося повышенной твердостью и низкой травимостью (белый слой). После-дующее поверхностное пластическое дефор-мирование (ППД) поверхности увеличивает ее твердость, способствует образованию сжима-ющих напряжений, снижению шероховатости, что благоприятно влияет на ресурс деталей [9, 11].

ППД ультразвуковым инструментом, вслед-ствие своих особенностей (высокой частоты, силы ударов, значительной скорости дефор-мации) ведет к дальнейшему, хоть и незна-чительному, изменению микроструктуры по-

верхностного слоя [1,10]. При последующем динамическом воздействии на поверхностный слой улучшаются его механические свойства: увеличивается усталостная прочность, пределы текучести и прочности, износостойкость, твердость, увеличивается коррозионная стойкость, а также снижается параметр шероховатости R_a [7, 8].

Анализ полученных зависимостей изменения средних значений микротвердости поверхностного слоя стальных образцов после УЗО, ЭМО и комбинированной ЭМУЗО показывает (рис. 1), что ЭМО приводит к увеличению микротвердости поверхностного слоя на глубине 0,1 мм до 5200 МПа, что примерно на 20% превышает микротвердость, полученную после УЗО на этой же глубине, и примерно в три раза превышает исходную микротвердость образцов. Комбинированная ЭМУЗО способствует дальнейшему повышению микротвердости до 5400 МПа (примерно до 5-7% больше чем после ЭМО). Это связано с формированием электромеханической обработкой высокопрочного поверхностного слоя, практически не поддающегося поверхностному пластическому деформированию в результате последующих нагружений.

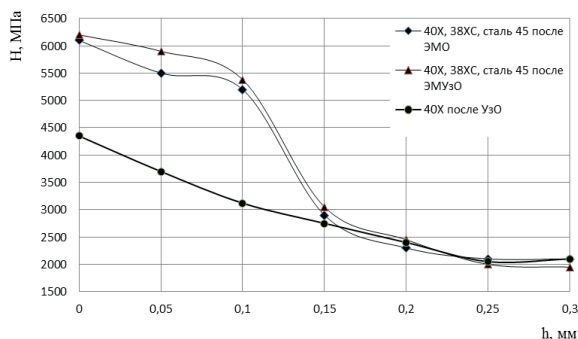


Рисунок 1 – Зависимость средних значений микротвердости поверхностного слоя стальных образцов после ультразвуковой (УЗО), электромеханической (ЭМО) и комбинированной (ЭМУЗО) обработок

Анализ полученных зависимостей среднего отклонения профиля R_a показывает, что после УЗО наблюдается его снижение, по сравнению с исходной поверхностью, примерно в 4 – 4,5 раза, высота неровностей R_z при этом также уменьшается почти в 4 – 4,5 раза, а наибольшая высота профиля R_{max} в 3,5 – 4 раза.

В процессе электромеханической обработки на поверхности образуется полоса упрочнения, в форме винтовой канавки, с различной степенью как твердости [9, 11], так и шеро-

ховатости. Более высокие пики неровностей расположены по границам полос упрочнения, представляющее собой вторичную (остаточную) шероховатость, эти же области полос упрочнения имеют и минимум твердости, которые, как правило, в процессе приработки наиболее сильно изнашиваются. Чередование неровностей и канавок, образовавшихся при деформационном воздействии рабочего инструмента на поверхность, приводит к снижению шероховатости в сравнении с исходной поверхностью. Шероховатость может изменяться в достаточно широких пределах, вплоть до образования более высоких пиков – вторичной шероховатости, в зависимости от технологических режимов обработки и геометрических параметров рабочего инструмента.

Комбинированная ЭМУЗО позволяет снизить параметр шероховатости R_a , в том числе за счет воздействия на пики неровностей расположенных на границах упрочненных полос, а более низкая твердость этих зон, в сравнении с центральной частью полос упрочнения, способствует их сглаживанию и получению более качественной поверхности. Таким образом, параметр шероховатости R_a после комбинированной обработки снижается почти в 3-6 раз, R_z в 1,5-2 раза, максимальная высота неровностей R_{max} снижается на 10-15 %.

Анализ профилограмм поверхностей образцов из стали 45, обработанных различными способами: после УЗО, после ЭМО, после комбинированной ЭМУЗО, показывает, что профиль поверхностей имеет периодический характер канавок и пиков макронеровностей. Полученный в процессе ЭМО, при термомеханическом воздействии рабочим инструментом на обрабатываемую поверхность с образованием винтовой канавки, макрорельеф претерпевает незначительные изменения после ультразвуковой обработки. При этом шаг канавки равен величине подачи инструмента в процессе ЭМО, а глубина впадины изменяется периодически и достигает максимума через одинаковые промежутки, соответствующие смещению инструмента на расстояние, превышающее ширину ленты контакта. Однако необходимо отметить, что на характер поверхности (макрорельеф) после ЭМО, в значительной степени влияют режимы обработки. Неоспоримой является лишь положительная динамика изменения качества поверхности после комбинированной ЭМУЗО.

Анализ зависимостей средних значений шероховатости R_a от технологических режимов обработки (силы тока I , А, как основного технологического фактора ЭМО) при комби-

нированной ЭМУзО (рис. 2) показывает, что комбинированная ЭМУзО позволяет снизить параметр шероховатости. В случае электро-механической обработки поверхностей образцов рабочим инструментом – пластиной из твердого сплава Т15К6, наблюдается снижение R_a при силе тока в 200 А примерно в два раза. Дальнейшее увеличение силы тока приводит к постепенному снижению R_a и при силе тока в 500 А наблюдается незначительный рост параметра шероховатости, связанный с образованием на поверхности, так называемой, вторичной шероховатости. Проведение ультразвуковой обработки в единой технологической системе с ЭМО, осуществленной неподвижной пластиной из твердого сплава, позволяет получить более качественную поверхность. Так при ЭМУзО при силе тока в 100 А получен более низкий параметр шероховатости примерно в 2 раза в сравнении с ЭМО, дальнейшее увеличение силы тока при ЭМУзО приводит к незначительному снижению R_a . Например, при $I = 500$ А, параметр шероховатости снижается лишь на 20-25%. Это связано с исчерпанием возможности деформационных механизмов упрочнения стали после ЭМО. Образующийся высокопрочный поверхностный слой состоящий из ультрадисперсного мартенсита практически не поддается пластическим деформациям и механическому упрочнению. Дальнейшее увеличение силы тока практически не меняет параметр шероховатости, и лишь после 800 А наблюдается незначительное его снижение, связанное с образованием зон вторичного термического влияния.

Несколько отличается формирование параметров поверхностного слоя при обработке твердосплавными роликами. Так, электро-механическая обработка твердосплавными роликами приводит к образованию высоких пиков неровностей на границах соседних полос упрочнения, чередующихся с канавками, выдавленными в зоне контакта рабочего инструмента с поверхностью в процессе термо-деформационного воздействия. Увеличение силы тока в процессе обработки приводит к повышению пластичности материала, тем самым увеличивая параметр шероховатости, при силе тока, например, в 600-700 А, в три раза. Дальнейшее увеличение силы тока не приводит к значительному увеличению параметра шероховатости. Комбинированная ЭМУзО положительно влияет на качество поверхности. Так при силе тока в 300-400 А шероховатость снижается примерно в 3 раза, а при силе тока в 600-700 А – в 5-6 раз.

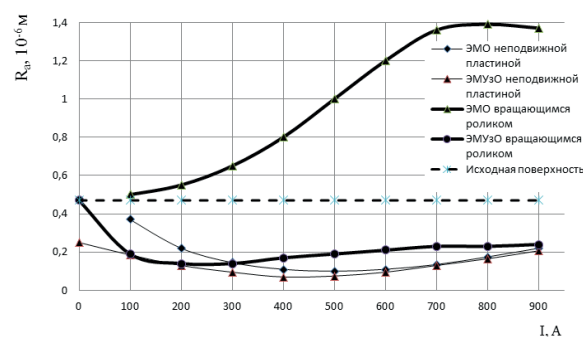


Рисунок 2 – Зависимость средних значений шероховатости R_a от технологических режимов обработки (силы тока I , А) при ЭМО и комбинированной ЭМУзО, выполненных твердосплавным рабочим инструментом: пластиной и роликом

В процессе электромеханоультразвуковой обработки поверхность образцов подвергается пластическому деформированию с образованием модифицированного слоя с большой концентрацией дислокаций, повышенной твердостью и невыраженной границей раздела с основным материалом, что позволяет замедлить формирование в поверхностном слое опасных концентраторов напряжений и усталостных трещин, блокируя развитие усталостных процессов в поверхностном слое, и повышая работоспособность детали.

ЭМУзО позволяет посредством измельчения структуры поверхностного слоя, формирования субструктуры в нижележащих слоях, значительного снижения шероховатости, повышения твердости поверхности, обеспечить высокие эксплуатационные свойства деталей трибоузлов машин и механизмов.

ВЫВОДЫ

1. Комбинированный метод электро-механоультразвуковой обработки, сочетающий термомеханическое воздействие электро-механической обработки и поверхностное пластическое деформирование ультразвуковой обработки, позволяет формировать поверхностный слой стальных деталей с особыми свойствами: высокой прочностью, микротвердостью и низкими параметрами шероховатости. Экспериментальные исследования образцов, обработанных по данной технологии, позволили снизить шероховатость поверхности в 3-6 раз, увеличив при этом микротвердость поверхности в 2-4 раза.

2. Установлено, что значительное влияние на формирование микрогеометрии поверх-

ности при ЭМУзО оказывает, наряду с технологическими факторами, исходное качество поверхности, определяемое методами предшествующей обработки.

3. При ЭМУзО материал в зоне контакта пластически деформируется, происходит сглаживание вершин микронеровностей и упрочнение приповерхностного слоя с формированием сжимающих остаточных напряжений со значительным снижением шероховатости. Установлено, что при использовании в качестве рабочего инструмента для термомеханического воздействия на поверхностный слой неподвижной твердосплавной пластины достигается максимальная эффективность обработки в пределах значений силы тока в 500-700 А.

4. Повышение твердости поверхности стальных образцов обеспечивается высокоскоростной закалкой металла в ходе ЭМО с формированием в тонком поверхностном слое ультрадисперсной мартенситной структуры.

5. Комбинированная электромеханоультразвуковая обработка позволяет значительно повысить качество обработанной поверхности, увеличить твердость и снизить параметры шероховатости, сформировав тем самым благоприятный для трущихся пар микро- и макрорельеф.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белый, А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев / А.В. Белый, Г.Д. Карпенко, Н.К. Мышкин. – М. : Машиностроение, 1991. – 208 с.
2. Аскинази, Б.М. Упрочнение и восстановление деталей электромеханической обработкой / Б.М. Аскинази. – Л.: Машиностроение, 1977. – 184 с.
3. Эдигаров, В.Р. Классификация комбинированных методов обработки на основе электромеханического упрочнения / В.Р. Эдигаров, И.Ю. Килунин, В.В. Дегтярь // Современные наукоемкие технологии. – 2012. – №3. – С. 32-36.

4. Эдигаров, В.Р. Технологии и оборудование комбинированных способов электромеханической обработки: монография / В.Р. Эдигаров. – Омск : ОАБИИ, 2014. – 280 с.

5. Киричек, А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием: библиотека технолога / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин. – М. : Машиностроение, 2004. – 288 с.

6. Хейфец, М.Л. Проектирование процессов комбинированной обработки. – М. : Машиностроение, 2005. – 272 с.

7. Косогоров, В.А. Комбинированное поверхностное упрочнение стальных сплавов на основе электромеханической и ультразвуковой обработок / В.А. Косогоров, В.П. Багмутов, И.Н. Захаров, Д.С. Денисевич, П.В. Косогорова // Известия ВолгГТУ. – 2014. – №1(128). – Т.7. – С. 10-14.

8. Багмутов, В.П. Комбинированное поверхностное упрочнение стальных и титановых сплавов на основе электромеханической и ультразвуковой обработок / В.П. Багмутов, И.Н. Захаров, А.П. Горунев, Е.Б. Захарова, Д.С. Денисевич, Л.В. Косогоров // Известия ВолгГТУ. – 2013. – №6(109). – Т.7. – С. 68-71.

9. Edigarov, V.R. The influence of process parameters of the electromechanical handling on its features. Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics), 2014. DOI: 10.1109/Dynamics. 2014.7005647 Publication Year: 2014, Page(s): 1-4 V.R. Edigarov, Litau E.V. Morgunov A.P.

10. Клименов, В.А. Ультразвуковое модифицирование поверхности и его влияние на свойства покрытий / В.А. Клименов, Ж.Г. Ковалевская, П.В. Уваркин [и др.] // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т.7. – Специальный выпуск. – Ч. 2. – С. 157-160.

11. Эдигаров, В.Р. Комбинированная электромеханическая обработка с динамическим силовым воздействием / В.Р. Эдигаров, Е.В. Литай, В.В. Малый // Омский научный вестник. – 2015. – № 1(137). – С. 69-73.

COMBINED ELECTROMECHANOULTRASONIC PROCESSING OF SURFACE COATING OF MACHINERY

Vyacheslav R. Edigarov, Botagoz Sh. Alimbaeva, P S. Perkov

Abstract: Results of research of the combined electromechanoultrasonic processing (EMUsP) combining thermomechanical impact of electromechanical processing and superficial plastic deformation of ultrasonic processing are presented. Results of research of microhardness and microgeometry of a blanket of samples from various brands of steel, and also influence of some technological parameters on the main properties of a steel surface are given.

Keywords: *the combined processing, electromechanical processing, ultrasonic processing, a blanket, superficial plastic deformation, thermomechanical influence, high-speed hardening.*

Эдигаров Вячеслав Робертович (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры двигателей Омского автобронетанкового инженерного института (644098, Россия, г. Омск, 14-й военный городок, ОАБТИ, e-mail: edigarovs@mail.ru)

Алимбаева Ботагоз Шайдуловна (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии производства Омского автобронетанкового инженерного института (644098, Россия, г. Омск, 14-й военный городок, ОАБТИ, e-mail: botagoz.alimbaeva@mail.ru)

Перков Павел Сергеевич (Омск, Россия) – соискатель Омского автобронетанкового инженерного института (644098, Россия, г. Омск, 14-й военный городок, ОАБТИ, e-mail: perkovps1984@mail.ru)

Vyacheslav R. Edigarov (Omsk, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Ass. Professor, Engine Head of the Department Omsk Tank Automotive Engineering Institute (644098, 14 military City, OTAEI, Omsk, Russian Federation, e-mail: edigarovs@mail.ru)

Botagoz Sh. Alimbaeva (Omsk, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Ass. Professor Department of manufacturing technology Omsk Tank Automotive Engineering Institute (644098, 14 military City, OTAEI, Omsk, Russian Federation, e-mail: botagoz.alimbaeva@mail.ru)

P. S. Perkov (Omsk, Russian Federation) – Applicant at the Department of Omsk Tank Automotive Engineering Institute (644098, 14 military City, OTAEI, Omsk, Russian Federation, e-mail: perkovps1984@mail.ru)

.....

РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

УДК 621.762.065:536.2

СНИЖЕНИЕ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ЭЛЕМЕНТОВ МЕЛЬНИЦ УДАРНО-ИНТЕГРАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТВЕРДЫХ БЕЗВОЛЬФРАМОВЫХ СПЛАВОВ TiC-TiNi

В.В. Акимов, А.И. Громовик, А.Ю. Грязнов

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В работе рассматривается получение композиционных материалов на основе тугоплавкого соединения TiC с переходным сплавом из никелида титана, который обладает высоким уровнем демпфирования. Применение данного связующего материала позволяет существенно повысить теплостойкость, прочность, пластичность, и тем самым абразивную износостойкость бил дезинтеграторных установок в процессе эксплуатации. Для условий дорожного строительства наиболее пригодным является сверхтонкое измельчение смеси, как наиболее производительный и менее энергоемкий процесс. Достоинством данного типа измельчительных установок является их сравнительная компактность.

Ключевые слова: композиционный материал TiC+TiNi, теплостойкость, износостойкость, дезинтеграторные билы, измельчение строительных смесей.

ВВЕДЕНИЕ

В работе представлена разработка твердых безвольфрамовых сплавов типа тугоплавкое соединение (TiC) – переходной сплавов (TiNi). В качестве связующей фазы использовали интерметаллидный сплав TiNi, обладающий высоким уровнем демпфирования.

Применение такого связующего материала позволяет существенно повысить прочность, твердость, теплостойкость, абразивную износостойкость бил дезинтеграторных установок в процессе их эксплуатации при измельчении минеральных порошков из карбонатных пород. Чаще всего используется прошедшая через сушильные барабаны часть песчаной фракции минеральной составляющей асфальтобетонной смеси, измельченной в мельнице. Это предложение было внедрено в ряде дорожных организаций различных областей РФ путем оснащения смесительных установок мельницами дезинтеграторного типа, которые выпускались ВНПФ ГИЛМ (г. Омск) [1].

Мельницы этого типа обусловлены рядом достоинств: компактностью, низкими удельными энергозатратами, способностью в процессе помола активировать кремнеземсодержащие

породы. Однако длительная эксплуатация подобных измельчительных мельниц выявила недостатки, заключающиеся в ограниченном сроке службы рабочих элементов – биллов. Одной из причин этого недостатка является высокие температурные воздействия в процессе помола на рабочие элементы дезинтеграторной установки. С учетом ударного воздействия при измельчаемом и измельчающем материалах развиваются температуры около 1000 °C [2,3]. Эти явления и провоцируют развитие абразивного износа, которое обуславливается, прежде всего, низкой теплостойкостью материала применяемого для изготовления бил дезинтегратора.

Оценить твердость и теплостойкость твердых сплавов на основе TiC можно при нагреве от комнатной температуры до 820 °C, выдержке при этой температуре в течении 4 часов с последующим охлаждением образцов материалов и сравнением их с теплостойкостью быстрорежущих сталей P18, P6M5, и твердого сплава BK8, находящихся при одинаковых условиях.

При исследовании абразивного изнашивания в настоящее время накоплен значительный практический и экспериментальный опыт, зависящий от большого числа факторов.

Таблица 1 – Изменение твердости сплавов TiC-TiNi

Состав сплава, об %	Температура нагрева сплава, °C									
	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700
	Твердость сплава (HRA)									
60TiC – 40TiNi	82,8	80	76,7	74,7	74	69,3	66,3	65,3	65,2	61
50TiC- 50TiNi	84,7	81,5	79	77,5	75,5	73,5	68,5	65,2	63,3	62
40TiC- 60TiNi	83,6	82	80,3	80	76,3	74,6	71,5	68	66,6	63

И.В. Крагельский считает, что к числу основных факторов износа можно отнести: величину удельного давления абразива на материал, соотношение поверхностной твердости абразива и материала, величину температуры материалов, степени кусковатости абразива, объем и геометрию поверхности изнашиваемого материала [4,5].

Анализируя перечисленные факторы можно выделить два направления снижения износа рабочих элемента дезинтеграторных мельниц.

Первое направление представляет выбор материала рабочих элементов мельниц (пальцев, дисков, втулок) изготовленных из отбеленных чугунов и сталей, легированных марганцем – 110Г13 (Г14; Х14Г14НЗТ).

Другое направление – это создание материала с более высокой абразивной стойкостью – металлокерамика.

Новые твердосплавные композиционные материалы (ТСКМ) должны иметь комплекс физико-механических и триботехнических свойств, которые должны быть равными или превосходить показатели, применяемые в промышленности ТСКМ. На практике широкое применение получили композиционные материалы с дисперсными твердыми частицами в достаточно мягкой матрице [6,7]. Известно, что твердые частицы в твердых сплавах повышают твердость и прочность, а связующая фаза придает матрице вязкость и пластичность [8].

Экспериментальные результаты. Исследуемые образцы твердых сплавов готовили из смеси спрессованных порошков карбида титана и никелида титана с добавлением 6% раствора каучука в чистом бензине. Размер исходных частиц карбида титана составляет от 1 до 5 мкм, никелида титана от 1 до 50 мкм. Образцы получили холодным односторонним

прессованием при давлении не более 100-200 МПа. Вакуумное спекание проводили в печи СШВ 1,25/25-UIPOO при давлении 7×10^{-2} Па и температуре 1300 °C в течении (10-30) минут с последующим охлаждением.

Объемное содержание связующей фазы TiNi изменяли в пределах от 40 до 60 (об %). Пористость спеченного материала определяли гидростатическим методом, которая составляла 2-3% со средним размером зерна карбида титана (3-5) мкм. Фазовый состав образцов определяли на рентгеновой установке «ДРОН – 3,0» с фильтрованным медным излучением, который показал наличие трех фаз:

TiC, TiNi, TiNi₃. Содержание фазы TiNi₃ было небольшим. Шероховатость поверхности образцов составляла $\sqrt{Ra 1,25 - 0,63}$ [9].

Твердость образцов при комнатной температуре составляла (86-87) HRA. Изменение твердости после термической обработки при определенной температуре проводили пять раз на одном образце, потом вычислили среднюю твердость (табл.1).

Нагрев образцов твердых безвольфрамовых сплавов проводили в печи СНО – 2,55.1,77/12, измерение температуры проводили контактным методом термопарой «хромель-алюмель» на столике прибора определения твердости по Роквеллу. Потом в образец внедряли алмазный конус при нагрузке весом в 60 кг, продолжительностью 20 с, с последующим снятием нагрузки и определением твердости HRA твердого сплава на приборе Роквелла по шкале А.

Обсуждение результатов. В табл.1 представлены результаты измерения твердости сплавов. Видно, что происходит монотонное снижение твердости от HRA 86 до HRA (61-63)

Таблица 2 – Твердость сплавов после нагревания и 4-х часовой выдержки в печи

Условия испытаний	50TiC-50TiNi	Сталь P18	Сталь P6M5	Сплав BK8
620 °C	86HRA	57HRC	56HRC	91HRA
820 °C	86HRA	-	-	-

Таблица 3 – Изменение массы твердых сплавов и быстрорежущих сталей при нагревании с 4-х часовой выдержкой

	Сплав 50TiC – 50TiNi	Сталь P18	Сталь P6M5	Сплав BK8
Изменение массы после нагрева до 620 °C, 10 ⁻³ кг	0	0,01	0,02	0,03
Изменение массы после нагрева до 820 °C, 10 ⁻³ кг	0,04	-	-	2,50

различных составов при изменении температуры от 100 до 700 °C [10].

Спеченные твердые сплавы не содержат кислорода, поэтому можно утверждать, что в процессе нагрева до (700-850) °C происходит упорядочение в связующей фазе TiNi структуры с утроенным параметром решетки CsCl. Это приводит к снижению твердости сплавов TiC – TiNi примерно на 20 HRA (табл.1). Аналогичные результаты были получены при анализе изменения твердости в сплавах BK8 при нагреве до 700 °C.

Теплостойкость сплавов TiC – TiNi, быстрорежущей стали марок P18 и P6M5, твердых сплавов BK8 определяли следующим образом. Образцы материалов нагревали до 620 °C или до 820 °C, с выдерживанием в печи в течении 4 ч, охлаждая вместе с печью до комнатной температуры. Твердость измеряли по Роквеллу (твердые сплавы по шкале HRA быстрорежущей стали по шкале HRC) и сравнивали ее с исходной.

Как показали исследования (табл. 2) твердость сплавов TiC – TiNi оставалась неизменной, тоже самое наблюдается и у твердых сплавов BK8, а твердость быстрорежущей стали P18 и P6M5 снизилась с (64-65) HRC до (56-57) HRC. Очевидно, что в быстрорежущей стали прошли процессы разупрочнения [11].

Экспериментальные результаты показали также, что в композиционных материалах TiC – TiNi не протекает процесс окисления при нагреве до 620 °C и наблюдается небольшой

прирост массы образцов в процессе нагрева до 820 °C, примерно на 0,04·10⁻³ кг (табл.3). Твердые сплавы BK8 сильно окислились и разбухли, прирост массы образцов для них составил 2,5·10⁻³ кг (табл. 3). Произошло окисление связующей Co фазы, что привело к разупрочнению материала. В сплавах же на основе карбида титана твердость полностью сохранилась, разупрочнение материала не произошло (табл. 2).

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что твердые сплавы на основе TiC со связующей фазой из никелида титана обладают достаточно высокой теплостойкостью до 820 °C. Поэтому можно использовать разработанные сплавы для изготовления дезинтегральных бил, работающих в условиях интенсивного износа и значительных динамических нагрузок с уменьшением абразивного износа при температурах до 1000 °C.

Перспективным способом повышения прочности и твердости дезинтеграторных бил выбран наиболее доступный механический метод упрочнения твердых композитов – ТМО (термомеханическая обработка). При деформации твердосплавного композиционного материала (ТСКМ) происходит изменение микротвердости образцов. Причем глубина слоя, в котором происходит изменение свойств достаточно большая (1,5...2 мм) [8]. ТМО втулок с внутренним диаметром 17 мм, внешним ди-

аметром 25 мм и высотой 30 мм из сплавов состава (50TiC – 40TiNi – 10Ti) об. % и (50TiC – 50TiNi) об. %, выполнялась на лабораторной установке [12].

Обкатанные и упрочненные твердосплавные материалы в виде рабочих элементов измельчительной установки показали снижение абразивного износа при получении порошков из кварцевых песков почти в 1,5-2 раза, по сравнению с рабочими элементами, изготовленными из стали 40, 45, 110Г13.

Деформационный характер упрочнения биллов подтверждается тем, что оно снижается отжигом при 1100 °С в течении 2 ч. Микротвердость отожженных биллов снижается до микротвердости исходных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокопец, В.С. Увеличение работоспособности мельниц ударного действия с применением повышенной теплостойкости / В.С. Прокопец, В.В. Акимов // Башкирский химический журнал. – 2005. – Т.12. – №3. – С.81-83.
2. Хайнике, Г. Трибохимия / Г. Хайнике. – М.: Мир, 1987. – 584с.
3. Молчанов, В.И. Активация минералов при измельчении / В.И. Молчанов, О.Г. Селезнев, Е.Н. Жирнов. – М.: Недры, 1988. – 208с.
4. Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
5. Клеймс, И.Р. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия / И.Р. Клеймс, Х.Х. Удэмыс. – М.: Машиностроение. – 1986. – 160 с.

6. Андриевский, Р.А. Наноккомпозиты на основе тугоплавких соединений: состояние разработок и перспективы / Р.А. Андриевский // Материаловедение. – 2006. – №4. – С. 20-26.

7. Панов, В.С. Твердые сплавы WC-Co, легированные карбидом тантала. Обзор / В.С. Панов, А.А. Зайцев // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. – №2. – С. 44-48.

8. Орданьян, С.С. Жаростойкость и жаропрочность легированных твердых сплавов WC-Co-Ni-RE(MN) / С.С. Орданьян, И.Б. Пантелеев, Т.В. Лукашова // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2010. – №2. – С. 23-25.

9. Акимов, В.В. Механизм жидкофазного спекания твердосплавных композитов TiC-TiNi / В.В. Акимов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2006. – №6. – С.33-35.

10. Акимов, В.В. Жаростойкость безвольфрамовых твердых сплавов TiC- TiNi в зависимости от объемного состава композиции при нагреве до высоких температур / В.В. Акимов, А.Ф. Мишуров, Е.В. Акимова // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2016. – Т.59. – № 10. – С. 688-691.

11. Геллер Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер – М: Металлургия. – 1975. – 580с.

12. Термомеханическое упрочнение твердосплавных пластин, используемых для обточки колесных пар / А.Ю. Попов, Н.Г. Васильев, А.А. Рауба // Железнодорожный транспорт Сибири: проблемы и перспективы: Тех. доклад научн. практ. конф. – Омск, 1989. – С.83.

DECREASE IN ABRASIVE WEAR OF ELEMENTS OF MILLS OF SHOCK AND INTEGRATED ACTION WITH USE OF SOLID BEZVOLFRAMOVY TIC-TINI ALLOYS

V.V. Akimov, A.I. Gromovik, A.Yu. Grjaznov

Abstract. In this work receiving composite materials on the basis of refractory connection – transitional alloy from a nikelid of the titan is considered. TiNi alloy has the high level of damping. Use of this binding material allows to increase significantly heat resistance, durability, plasticity and by that abrasive wear resistance the dezintegratornykh of installations in use beat. For conditions of road construction by the most suitable superthin crushing of mix as the most productive and less power-intensive process is. The izmelchitelnykh of installations is the advantage of this type their comparative compactness.

Keywords: composite material, heat resistance, wear resistance, dezintegratorny bila, crushing.

REFERENCES

1. V.S. Prokopets, V.V. Akimov. Increase in op-

erability of mills of shock action with application of the raised heat resistance. Bashkir chemical magazine, 2005, T.12, No. 3, pp. 81-83.

2. Haynike G. Tribokhimiya, M.: World, 1987, 584 pages.
 3. Molchanov V.I., Seleznyov O.G., Zhirnov E.N. Activation of minerals when crushing, M.: Not Wad Dra, 1988, 208 pages.
 4. Kragelsky I. V. Friction and wear. M.: Iashinostroyeniye, 1968, 480 pages.
 5. Claims I.R., Udemys H. H. Iznosostoykost of elements of grinders of shock action. M.: Mechanical engineering, 1986, 160 pages.
 6. Andrievsky, R.A. Nanocomposites on the basis of refractory connections: condition of developments and prospect. Materials science, 2006, No. 4, pp. 20-26.
 7. V.S. Panov, A.A. Zaytsev. The solid WC-Co alloys alloyed by tantalum carbide. Obzor. Powder metallurgy and functional coverings, 2015, No. 2, pp. 44-48.
 8. S.S. Ordanyan, I.B. Panteleev, T.V. Lukashova. Heat resistance and thermal stability of the alloyed solid WC-Co-Ni-RE (MN) alloys. Powder metallurgy and functional coverings, 2010, No. 2, pp. 23-25.
 9. Akimov, V.V. Mekhanizm of liquid-phase agglomeration of hard-alloy composites of TiS-TiNi. News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy, 2006, No. 6, pp. 33-35.
 10. V. V. Akimov, A. F. Mishurov, E. V. Akimova. Zharostoykost the bezvolframovykh of solid TiC-TiNi alloys depending on volume structure of composition when heating to high temperatures. News of higher educational institutions. Ferrous metallurgy, 2016, T.59, No. 10, pp. 688-691.
 11. Geller Yu. A. Instrumental became, M.: metallurgiya, 1975, 580 pages.
 12. Popov A.YU., Vasilyev N. G., A.A. Rauba. Thermomechanical hardening of the hard-alloy plates used for turning of wheel couples. Zheleznodorozhny transport of Siberia: problems and prospects: Those. report academic and research conference, Omsk, 1989, Page 83.
- Акимов Валерий Викторович (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).*
- Громовик Анатолий Иванович (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительная механика и геотехнологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).*
- Грязнов Алексей Юрьевич (Омск, Россия) – инженер кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail:lexa-gryaznov@mail.ru).*
- Valery V. Akimov (Omsk, Russia) is the Doctor of Engineering, professor of "Cars, Constructional Materials and Technologies" department FGBOU WAUGH of "SIBADI" (644080, Omsk, Mira Ave., 5).*
- Anatoly I. Gromovik (Omsk, Russia) is Candidate of Technical Sciences, the associate professor "Construction mechanics and geotechnologies" FGBOU WAUGH of "SIBADI" (644080, Omsk, Mira Ave., 5).*
- Alexey Yu. Gryaznov (Omsk, Russia) is the engineer of "Cars, Constructional Materials and Technologies" department FGBOU WAUGH of "SIBADI" (644080, Omsk, Mira Ave., 5).*

УДК 621.113.066

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ

Ю.В. Баженов, В.П. Каленов
Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Россия, г. Владимир

Аннотация. В статье приведены результаты исследований эксплуатационной надежности электронных систем управления двигателем (ЭСУД). Обоснован комплекс диагностических параметров для оценки технического состояния подсистем ЭСУД и их нормативные значения. Построены графики и аналитические уравнения, описывающие закономерности изменения диагностических параметров по наработке. Предложена методика прогнозирования остаточного ресурса конструктивных элементов ЭСУД с использованием доверительных интервалов. Методика апробирована на примере прогнозирования остаточного ресурса подсистемы питания топливом ЭСУД 1.6 THP Turbo Tiptronic (110 кВт) автомобиля Peugeot 208.

Ключевые слова: ЭСУД, остаточный ресурс, прогнозирование, диагностический параметр, методика, доверительные границы.

ВВЕДЕНИЕ

Основой прогнозирования остаточного ресурса технического объекта, находящегося в эксплуатации, служит диагностическая информация и нормативные значения параметров, оценивающих его техническое состояние. Сложность задачи прогнозирования состояния ЭСУД заключается в том, что в регламенте технического обслуживания автомобилей, операции контроля этих систем не предусмотрены. Заводами изготовителями при проведении регламентных ТО рекомендуется проверять коды неисправностей в памяти электронного блока управления (ЭБУ) и только при их наличии выполнять необходимые контрольно-диагностические операции. При отсутствии кодов неисправностей ЭСУД признается технически исправной и дополнительные проверки не проводятся. В результате допускается значительное число не выявленных в ЭСУД неисправностей и, как следствие, эксплуатационных отказов.

Для обеспечения требуемого уровня надежности ЭСУД при выполнении технических обслуживаний автомобилей необходимо проводить контрольно-диагностические операции по оценке ее технического состояния с прогнозированием остаточного ресурса. Бортовая система самодиагностики автомобиля не может выполнить эту задачу, так как ЭБУ заносит в свою память код неисправности только при выходе какого-либо диагностического параметра из заданного в программе нормативного интервала.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭСУД

На начальной стадии создания объекта (проектирование и конструирование) оценку ресурса осуществляют, в основном, по результатам конструкторских расчетов и статистическим данным об его аналогах. Прогнозируемый при этом ресурс является заданной величиной, соответствующей некоторой вероятности, с которой ресурс должен быть реализован в эксплуатации. Поэтому на стадии проектирования в качестве прогнозируемого ресурса в технической документации указывается некоторый средний ресурс t_{cp} – математическое ожидание наработки изделия до предельного состояния.

В реальных условиях эксплуатации ресурс объекта из-за воздействия на него множества случайных факторов производства и эксплуатации варьирует в довольно широких пределах. Например, средняя наработка до отказа конструктивных элементов ЭСУД 1.6 THP Turbo Tiptronic (110 кВт) по результатам эксплуатационных наблюдений, выполненных на базе дилерского центра Peugeot (г. Владимир), варьирует от 37, 5 до 194,7 тыс. км (табл. 1).

В отличие от стадии проектирования, когда прогнозируется ресурс всей генеральной совокупности создаваемых объектов, прогнозирование на стадии эксплуатации выполняют для конкретных изделий, частично реализовавших свой ресурс. В этом случае оценивается индивидуальный остаточный ресурс объекта, т.е. возможная продолжительность его эксплуатации от момента контроля технического состояния до достижения им предельного состояния. Отличается он от ресурса тем, что в качестве начала отсчета принимается текущая наработка, до которой объект уже какое-то время эксплуатировался.

Современные методы прогнозирования технического состояния объектов подразделяются на три основные группы: методы экспертных оценок, методы моделирования, статистические методы.

Наиболее достоверными при прогнозировании индивидуального остаточного ресурса изделий в условиях эксплуатации являются статистические методы, основанные на объективной оценке их технического состояния в текущий момент времени. Процесс прогнозирования с использованием статистических методов предусматривает выполнение следующих этапов:

- обоснование комплекса диагностических параметров, адекватно отражающих техническое состояние изделий и определение их нормативных значений;
- построение графиков изменения диагностических параметров по статистическим данным;
- разработка аналитических уравнений, описывающих закономерности изменения этих параметров по наработке;
- статистическая оценка остаточного ресурса.

Диагностирование электронных систем управления двигателем является одним из самых сложных видов работ по техническому

Таблица 1 – Средняя наработка до отказа конструктивных элементов ЭСУД

Конструктивный элемент ЭСУД	Средняя наработка до отказа t, тыс. км.	Процент от общего количества отказов ЭСУД
1. Электронный термостат (с датчиком температуры охлаждающей жидкости)	37,5	12,1
2. Электромагнитная форсунка	125,8	4,2
3. Кислородный датчик	60,2	8,1
4. Каталитический нейтрализатор	132,5	5,2
5. Топливный насос	119,3	2,5
6. Топливный насос высокого давления (с регулятором давления топлива)	88,7	4,8
7. Датчик давления топлива	185,3	1,4
8. Электромагнитный клапан аварийного сброса давления наддува	109,2	2,2
9. Датчик давления наддува	156,5	4,1
10. Электромагнитный клапан регулирования давления наддува	94,5	4,0
11. Электронная дроссельная заслонка	87,1	6,8
12. Электродвигатель системы изменения подъема клапанов ГРМ	127,4	3,8
13. Электронасос охлаждения турбокомпрессора	101,3	4,7
14. Электромагнитный клапан системы изменения фаз ГРМ	70,7	8,3
15. Электронная педаль газа	140,6	1,2
16. Свеча зажигания	45,9	8,2
17. Катушка зажигания	102,1	6,2
18. Датчик положения коленчатого вала	178,8	1,9
19. Датчик положения распределительного вала	194,7	2,6
20. ЭБУД	132,3	4,4
21. Турбокомпрессор	128,4	2,9

обслуживанию и ремонту автомобилей. Эффективное заключение о техническом состоянии ЭСУД (постановка диагноза) требует от исполнителя высокой квалификации, знаний конструкции обслуживаемого двигателя, умения пользоваться современным диагностическим оборудованием и нормативной технической документацией.

ЭСУД включают в себя от 30 до 50 конструктивных элементов. Контролировать

состояние каждого из них при проведении регламентных работ технического обслуживания (ТО) автомобиля экономически нецелесообразно, так как это приведет к большим трудовым затратам. Поэтому рекомендуется разбить ЭСУД на четыре подсистемы, каждая из которых может быть оценена одним диагностическим параметром, отражающим техническое состояние входящих в них конструктивных элементов [1]:

Таблица 2 – Нормативные значения диагностических параметров, оценивающих техническое состояние подсистем ЭСУД

Диагностический параметр	Нормативное значение диагностического параметра		
	Номинальное	Допустимое	Предельное
$P_{\text{дв, мбар}}$	40	80	100
$P_{\text{дт, бар}}$	3,0	7,0	9,0
$\varphi_{\text{гм}}, ^\circ\text{ПКВ}$	2,0	6,0	7,0
$K_{\text{кп, \%}}$	1,5	5,5	6,2

- питания топливом – отклонением давления топлива в рампе $P_{\text{дт}}$;
- подачи воздуха – отклонением давления воздуха во впускном коллекторе $P_{\text{дв}}$;
- изменения фаз газораспределения – отклонением положения фазорегулятора впускного распределительного вала фгм;
- снижения токсичности отработавших газов – коэффициентом коррекции топливоподачи $K_{\text{кп}}$.

Нормативные значения диагностических параметров, найденные по результатам экспериментальных исследований подсистем ЭСУД двигателя ЕР6ДТ, приведены в табл. 2.

Исчерпание заложенного при проектировании ЭСУД ресурса обусловлено постепенным накоплением различных повреждений в их элементах (изнашивание, коррозия, и т.д.). Развитие таких повреждений в зависимости от времени или наработки носит плавный, монотонный характер, приводящий к возникновению постепенных отказов, поэтому с некоторой вероятностью изменение параметра технического состояния может быть описано линейной или степенной функцией

$$y(t)=y_n+ut; \quad (1)$$

$$y(t)=y_n+ut^\alpha, \quad (2)$$

где y_n – начальное значение параметра технического состояния; u – интенсивность изменения параметра по наработке; t – наработка изделия; α – показатель степени, определяющий зависимость параметра y от наработки t (при $\alpha \approx 1$ степенная функция преобразуется в линейную).

Изменение аналогового диагностического параметра по наработке для большинства узлов и систем автомобиля описывается теми

же функциями, что и параметры технического состояния. При прогнозировании остаточного ресурса подсистем ЭСУД, например, изменение диагностического параметра по наработке с достаточной степенью точности описывается линейной функцией

$$S=S_n+ut; \quad (3)$$

где S_n – начальное значение диагностического параметра; u – интенсивность изменения диагностического параметра по наработке t .

Графическая интерпретация этой зависимости представлена на рис.1.

Из приведенной схемы видно, что остаточный ресурс объекта $t_{\text{ост}}$ представляет собой разность между прогнозируемым значением наработки до отказа и продолжительностью его эксплуатации, предшествующей прогнозируемому периоду t_i .

$$t_{\text{ост}} = t_{\text{пр}} - t_i. \quad (4)$$

Таким образом, для определения запаса исправной работы, необходимо, методом экстраполяции, по данным измерения диагностического параметра в период, предшествующий прогнозируемому, определить его дальнейшее изменение по наработке до предельного значения и разработать аналитическое уравнение, аппроксимирующее это изменение.

Значение предельной наработки до отказа из-за влияния большого числа факторов эксплуатации является случайной величиной, которая может быть описана дифференциальной функцией распределения $f(t)$. Поэтому фактически прогнозируемое предельное значение наработки до отказа представляет собой некоторую среднюю величину (на схеме она соответствует реализации 1), которая определяется из выражения

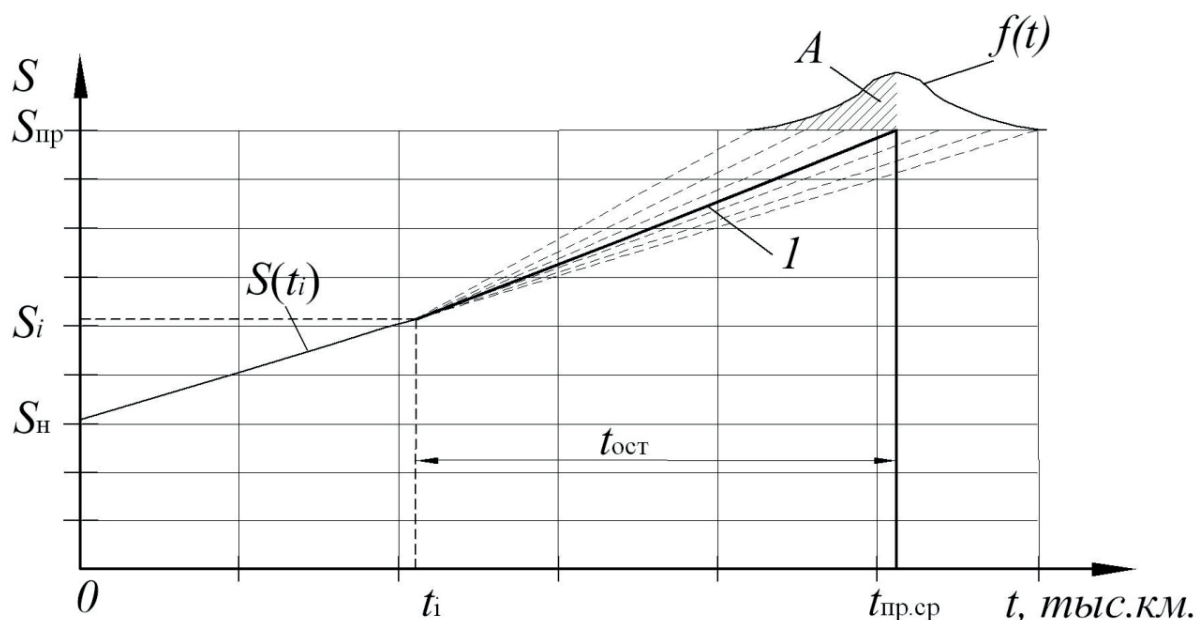


Рисунок 1 – График изменения диагностического параметра по наработке:
 $S_{пр}$, S_i , S_n – предельное, текущее и начальное значения диагностического параметра;
 $t_{пр}$ – прогнозируемая наработка до предельного состояния; t_i – текущее значение наработки;
 $t_{ост}$ – остаточный ресурс; $f(t)$ – плотность распределения наработок до предельного состояния

$$t_{пр. ср} = (S_{пр} - S_n) / v \quad (5)$$

где S_n , $S_{пр}$ – начальное и предельное значение диагностического параметра.

Как показывает практика, при использовании в качестве предельной наработки ее среднее значение $t_{пр.ср}$ запас исправной работы у части ЭСУД окажется меньше рассчитанного (на рис.1 – область A распределения наработок до предельного состояния). Это приводит к ошибкам прогнозирования и, как следствие, увеличению количества отказов системы в эксплуатации.

Для уменьшения негативных последствий таких ошибок в данной работе предлагается определять остаточный ресурс не по среднему значению прогнозируемого ресурса, а по нижней доверительной границе распределения этого ресурса. Доверительные границы прогнозируемой наработки до отказа определяются из выражения

$$t_{пр.(н.в.)} = t_{пр.ср} - t(p)\sigma_t, \quad (6)$$

где $t_{пр.(н.в.)}$ – нижняя и верхняя доверительные границы прогнозируемой наработки до отказа; $t(p)$ – коэффициент Стьюдента; σ_t – среднее квадратическое отклонение наработки.

Коэффициент Стьюдента определяется по заданной доверительной вероятности, значе-

ние которой для конструктивных элементов автомобиля, непосредственно не влияющих на безопасность движения, может быть принята равной $p = 0,80$. Такой уровень доверительной вероятности позволяет исключить значительную часть линейных отказов элементов ЭСУД и существенно сократить связанные с этим затраты на восстановление работоспособности автомобиля где n – объем выборки обследования ЭСУД.

Выражение (4) для определения остаточного ресурса по нижней доверительной границе примет вид

$$t_{ост} = t_{пр.н} - t_i. \quad (7)$$

Апробацию разработанной методики определения прогнозируемого остаточного ресурса выполним на примере подсистемы питания топливом ЭСУД двигателя EP6DT автомобиля Peugeot 208 при прохождении им ТО-3 (наработка 60 тыс.км.). По результатам контрольно – диагностических работ были получены следующие значения диагностических параметров, оценивающих техническое состояние подсистем ЭСУД: $P_{дт} = 7,3$ бар; $P_{дв} = 70$ мбар; $\varphi_{гм} = 3^\circ$; $K_{кл} = 3,8 \%$.

Интенсивность изменения диагностического параметра $P_{дт}$ по наработке:

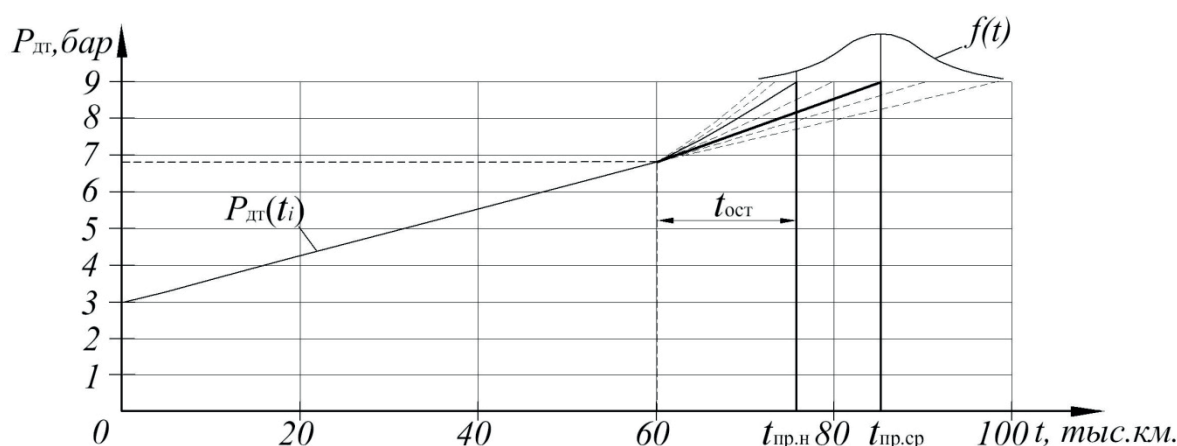


Рисунок 2 – Схема определения остаточного ресурса подсистемы питания топливом:
 $t_{пр.ср}$ – прогнозируемая наработка до отказа; $t_{пр.н}$ – нижняя доверительная граница;
 $t_{ост}$ – остаточный ресурс; $f(t)$ – плотность распределения вероятности

$$v_{дт} = \frac{P_{дт} - P_{дтн}}{t_i} = \frac{7,3 - 3}{60} = 0,072 \text{ бар/тыс.км.}$$

Линейная функция, описывающая закономерность изменения диагностического параметра $P_{дт}$ по наработке, примет вид

$$P_{дт}(t) = 3 + 0,072 \cdot t.$$

Прогнозируемое значение наработки до отказа:

$$t_{пр.ср} = (P_{дтн} - P_{дтн}) / v = (9,0 - 3,0) / 0,072 = 83,3 \text{ тыс.км.}$$

Среднее квадратическое отклонение наработки

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - t_{пр.ср})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{260,7}{50-1}} = 5,32 \text{ тыс.км.}$$

Коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $p = 0,80$ и числе степеней свободы $N = 2$ равен $t(p) = 1,29$.

Значение нижней доверительной границы прогнозируемой наработки до отказа подсистемы питания топливом:

$$t_{пр.н} = t_{пр.ср} - t(p) \cdot \sigma_t = 83,3 - 1,29 \cdot 5,32 = 76,44 \text{ тыс.км.}$$

Графическая интерпретация определения прогнозируемого остаточного ресурса подсистемы питания топливом представлена схемой на рис.2.

Прогнозируемый остаточный ресурс подсистемы питания топливом ЭСУД по нижней доверительной границе составит

$$t_{ост(нм)} = t_{пр.н} - t_i = 76,44 - 60 = 16,44 \text{ тыс.км.}$$

Остаточные ресурсы остальных подсистем ЭСУД, рассчитанные аналогичным образом, представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Прогнозируемые значения остаточного ресурса подсистем ЭСУД

Наименование подсистемы ЭСУД	Остаточный ресурс, тыс. км.
Подачи воздуха	32,6
Питания топливом	16,44
Изменения фаз газораспределения	34,8
Снижения токсичности отработавших газов	28,5

Учитывая то, что диагностирование автомобилей проводится в основном периодически, по плану, задача прогнозирования их остаточного ресурса заключается в определении возможности их безотказной работы до выполне-

ния очередного ТО. Полученное в результате расчета, значение остаточного ресурса подсистемы питания топливом ЭСУД меньше межконтрольной наработки (для автомобилей Peugeot периодичность ТО составляет 20 тыс. км.). Поэтому в процессе проведения ТО данного автомобиля необходимо провести углубленное диагностирование этой подсистемы и входящих в нее конструктивных элементов (топливного насоса высокого давления, регулятора давления топлива, форсунок и др.).

Остаточные ресурсы остальных подсистем ЭСУД превышают межконтрольную наработку. С высокой долей вероятности они не потеряют свою работоспособность до проведения очередного ТО, поэтому нет необходимости проведения каких либо операций ТО по этим подсистемам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогнозирование остаточного ресурса ЭСУД является важнейшим элементом в системе управления техническим состоянием автомобилей и его конструктивных элементов в эксплуатации. Определение остаточного ресурса по нижней доверительной границе позволяет рассчитать запас исправной работы подсистем ЭСУД с заданной вероятностью, существенно сократить отказы системы в эксплуатации и связанные с этим затраты на восстановление ее работоспособности.

Для удобства использования разработанной методики определения остаточного ресурса ЭСУД на практике был разработан программный комплекс, позволяющий в автоматическом режиме рассчитывать запас исправной работы ее подсистем по результатам диагностирования их технического состояния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов, Ю.В. Поддержание надежности электронных систем управления двигателем в эксплуатации / Ю.В. Баженов, В.П. Каленов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2016. – № 2. – С. 2–5.
2. Болдин, А.П. Надёжность и техническая диагностика подвижного состава автомобильного транспорта: учебное пособие для вузов / А.П. Болдин. – М.: МАИИ, 2010. – 206 с.
3. Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
4. Ерохов, В.И. Системы впрыска бензиновых двигателей: учебное пособие / В.И. Ерохов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 553 с.
5. Набоких, В.А. Диагностика электрооборудования автомобилей и тракторов: учебное пособие / В.А. Набоких. – М.: ФОРУМ, 2013. – 288 с.
6. Сидняев, Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных: учебное пособие / Н.И. Сидняев. – М.: Юрайт, 2011. – 399 с.
7. Тюнин, А.А. Диагностика электронных систем управления двигателями легковых автомобилей: учебное пособие / А.А. Тюнин – М.: Солон–Пресс, 2007. – 352с.
8. Яковлев, В.Ф. Диагностика электронных систем автомобиля: учебное пособие / В.Ф. Яковлев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 272 с.
9. Яхьяев, Н.Я. Основы теории надежности: учебник для студ. учреждений высшего образования / Н.Я. Яхьяев, А.В. Кораблин. – М.: Издательский центр Академия, 2014. – 208 с.

THE FORECASTING OF THE RESIDUAL RESOURCE OF ELECTRONIC ENGINE CONTROL SYSTEM

Y.V. Bazhenov, V.P. Kalenov

Abstract. In the article authors have given the results of research operating reliability of electronic engine control module systems (ECM), substantiated the set of diagnostic parameters for the estimation of the technical condition of the subsystems (ECM) and their standard value, built graphics and analytical equations describing the patterns of changes diagnostic parameters in the meantime. The method of forecasting of residual resource of structural elements ECM was given with the using of confidential interval. The method was tasted on the example of forecasting of the residual resource of the power subsystem fuel ECM 1.6 THP Turbo Tiptronic (110 kBm) the Peugeot 208.

Keywords: ECM, residual resource, forecasting, diagnostic parameter, method, confidential limits.

- Vladimir P. Kalenov (Russian Federation, Vladimir) – postgraduate student of the department «Automobile transport», Vladimir state University named after Alexander and Nicholay Stoletovs (600000, Russian Federation, Vladimir, Gorky str., 87, e-mail: vpkalovnov@mail.ru).

59

ВВЕДЕНИЕ

Полноценное функционирование системы общественного пассажирского транспорта (СОПТ) оказывает эффективное воздействие на экономическое и социальное развитие города, положительно влияет на жизнедеятельность населения, его благосостояние и жизненный уровень, способствует улучшению состояния окружающей среды.

Общественный пассажирский транспорт (ОПТ) является важнейшей составляющей частью в структуре всех муниципальных образований, и проблема повышения его эффективности становится с каждым годом все более актуальной.

Транспортные проблемы современных городов России имеют сложный спектр причин и разнообразные проявления. Город Омск не является исключением. В настоящее время в системе перевозок пассажиров г. Омска накопился ряд нерешенных проблем.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПТ Г. ОМСКА

Омск – это крупнейший город с численностью населения 1178,1 тысяч человек [1]. Перевозка пассажиров здесь осуществляется следующими видами транспорта: автобус, троллейбус, трамвай. Объем перевозок населения ОПТ в городе составляет 1136 тысяч пассажиров. Маршрутная сеть (МС) города состоит из 196 маршрутов ОПТ. Структура маршрутной сети по состоянию на февраль 2017 года согласно данным [2] отображена на рис. 1.

Как показывает рис. 1, наибольшую долю в структуре МС г. Омска занимают автобусы различной вместимости. Структура подвижного состава (ПС) ОПТ по вместимости отображена на рис. 2.

Общее количество ПС ОПТ в городе рав-

но 3152 единицам. Согласно рис. 2 в структуре ПС ОПТ г. Омска преобладает ПС малой (М) вместимости и составляет более половины всего парка. Данное обстоятельство как результат начавшегося в конце 1990-х годов внедрения в Омскую МС маршрутных такси и массового увеличения их количества, а также слабой системы регулирования деятельности данного сектора перевозок наряду с другими факторами привело к некоторым серьезным проблемам ОПТ г. Омска.

ПРОБЛЕМЫ ОПТ Г. ОМСКА, ИХ ПРЕДПОСЫЛКИ И ПРИЧИННО- СЛЕДСТВЕННЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ

Основная проблема ОПТ г. Омска берет свое начало еще в начале 1990-х годов, когда были изменены условия финансирования ОПТ. Если раньше расходы на функционирование ОПТ в городах покрывались за счет средств, находящихся в ведении Министерства транспорта и пополняемых за счет результатов функционирования не только пассажирского, но и в большей степени грузового транспорта, то теперь покрытие убытков ОПТ было отдано в руки территориального транспортного управления. Однако бюджет местного уровня в г. Омске не был готов в полной мере справиться с поддержанием финансового обеспечения ОПТ. Кроме того, в тот период были проведены мероприятия социальной направленности, которые в последствии привели к увеличению доли пассажиров, пользующихся льготами при проезде в муниципальном ОПТ. В результате в условиях ограниченного бюджетного финансирования муниципальные пассажирские предприятия оказались в критической ситуации.

Ситуация усугубилась и тем, что в конце 1999 года у муниципального ОПТ появились конкуренты – частные перевозчики. Стоит

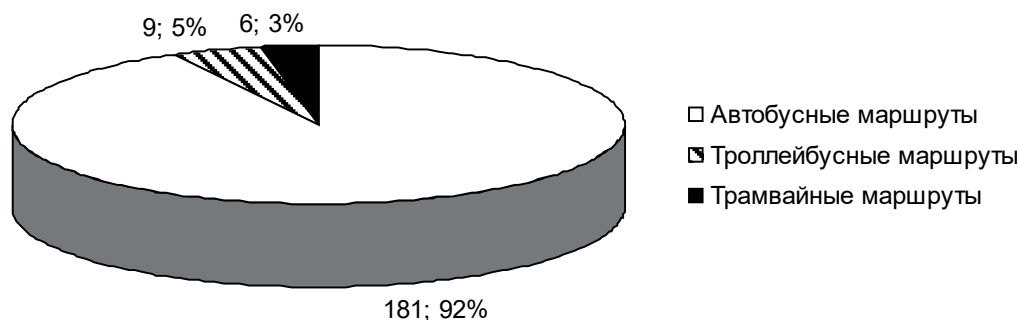


Рисунок 1 – Структура МС г. Омска по видам транспорта

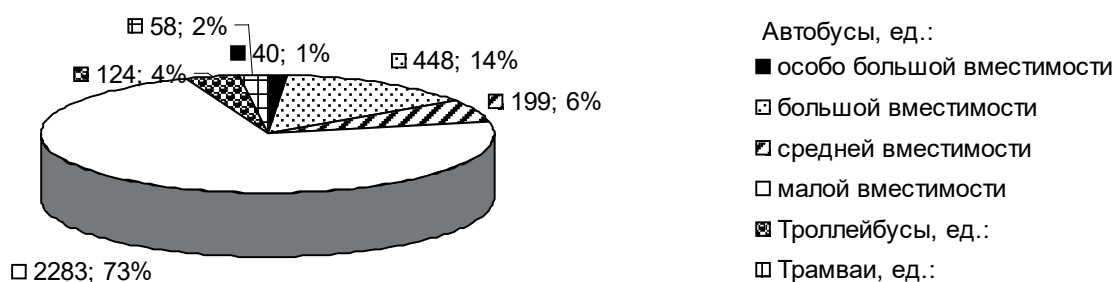


Рисунок 2 – Структура парка ПТ ОПТ г. Омска по типам вместимости

отметить, что частный сектор пассажирских перевозок появился в городе с целью стабилизации сложившейся ситуации в СОПТ и одновременного сохранения муниципального ОПТ с приемлемыми тарифами и преференциями для льготников [3]. Однако ситуация сложилась иным образом: пассажиры стали отдавать предпочтение ОПТ, принадлежащему частным перевозчикам в силу улучшения комфортности поездки, увеличения скорости передвижения и снижения времени ожидания посадки в ПС ОПТ. В результате это привело к тому, что теперь большая часть пассажиров пользуется услугами частных перевозчиков, а муниципальный ОПТ снова находится в критической ситуации. Вместимость ПС муниципального ОПТ не соответствует величине пассажиропотока, расходы муниципальных предприятий растут в силу понятных причин, а выручка от продажи билетов сокращается. Срок службы муниципального ОПТ превышает допустимые пределы в силу трудностей обновления парка ПС ОПТ.

В результате возникает ряд существенных проблем, связанных с финансовыми трудностями СОПТ:

- увеличение расходов на амортизацию ПС ОПТ;
- увеличение расходов на оснащение ремонтной базы ПС ОПТ;
- повышение себестоимости перевозки пассажиров;
- возникновение необходимости повышения тарифов на услуги ОПТ в городе.

В 1990-х годах в России начался бурный и стремительный рост автомобилизации [4, с. 18]. С тех пор количество легковых автомобилей в российских городах неуклонно растет. На рис. 3 отражена динамика изменения уровня автомобилизации в г. Омске в течение семи лет [5, с. 51], [6, с. 50], [7, с. 41], [8, с. 34]. Количество легковых автомобилей, приходящее-

ся на 1000 человек населения города, имеет стабильную тенденцию увеличения в течение последних трех лет.

Большое количество легковых автомобилей в структуре городского транспорта повышает нагрузку на городские магистрали и приводит, таким образом, к возникновению транспортных заторов.

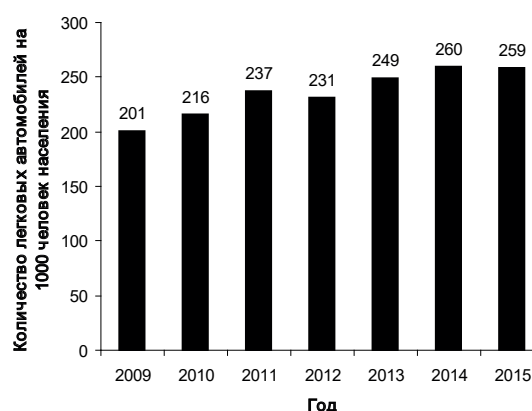


Рисунок 3 – Динамика изменения уровня автомобилизации в г. Омске

Усугубляет данную ситуацию функционирование на городских магистралях ПС ОПТ малой (М) вместимости (согласно рис. 2) и приводит к возникновению следующих проблем:

- превышение интенсивности движения транспорта на главных магистралях города над пропускной способностью участков транспортной сети и остановочных пунктов;
- снижение уровня безопасности дорожного движения;
- увеличение риска возникновения дорожно-транспортного происшествия;
- снижение скорости движения ПС ОПТ;

- Среди проблем административно-право-

- слабые нормативно-законодательные предпосылки модернизации технического обеспечения ОПТ;

работающие без контрактов – 5% в доле рынка [9, с. 910];

- несоответствие обустройства многих остановочных пунктов и транспортных участков города требованиям, прописанным в ГОСТ и ТУ.

Отсутствие системного подхода к формированию МС привело к значительному увеличению числа маршрутов. Данное обстоятельство повлекло за собой ряд негативных последствий, среди которых следующие проблемы, касающиеся, прежде всего, муниципального ОПТ:

- образование большого количества дублирующих друг друга маршрутов;
 - снижение эффективности использования ПС ОПТ;
 - несоответствие структуры парка ПС ОПТ по вместимости величине пассажиропотока, обслуживаемого на маршрутах;
 - увеличение интервалов движения ПС ОПТ;
 - повышение себестоимости перевозок.
- В целом указанные проблемы ОПТ г. Омска и их причинно-следственные взаимосвязи можно представить в виде укрупненной блок-схемы, отраженной на рис. 4.

В общем итоге неэффективность функционирования СОПТ г. Омска приводит к снижению уровня качества обслуживания пассажиров. Это проявляется в следующих аспектах:

- снижение комфортности поездки;
- повышение уровня риска дорожно-транспортных происшествий;
- повышение уровня шума от работы ОПТ;
- ухудшение экологической обстановки в городе;
- накопление транспортной усталости;
- рост тарифов на услуги ОПТ;
- снижение уровня жизни и здоровья населения города.

В результате снижается уровень социально-экономического развития города, его привлекательность для населения.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОПТ Г. ОМСКА

Согласно [10, с. 910] можно говорить о существовании в настоящее время значительных резервов повышения эффективности функционирования СОПТ г. Омска. В частности, может быть сокращено количество маршрутов и ПС ОПТ при условии сохранения и (или) улучшения показателей качества обслуживания пассажиров.

Администрация г. Омска уже давно признала необходимость совершенствования системы перевозок пассажиров в городе. Этому также способствовало принятие Федерального закона от 13.07.2015 № 220-ФЗ «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [11] и стало новым этапом в реформировании СОПТ г. Омска [12, с. 39-40]. В рамках реализации переходных положений Федерального закона Администрацией г. Омска были намечены мероприятия по развитию регулярных перевозок в городе [13] и разбиты на четыре этапа:

1. первый этап (2016 год) предусматривает приведение количества транспортных средств на муниципальных маршрутах в соответствие с утвержденным реестром муниципальных маршрутов, оптимизацию городской МС путем максимального исключения дублирования маршрутов и организации дополнительных транспортных связей;

2. второй этап (2017-2018 годы) предусматривает формирование оптимальной для города МС с учетом сформировавшихся пассажиропотоков, определение необходимого количества ПС ОПТ по видам и классам транспортных средств «для обеспечения качественного транспортного обслуживания населения города Омска» [13];

3. третий этап (2019 год) предусматривает «проведение открытых конкурсов среди перевозчиков на право осуществления перевозок по муниципальным маршрутам обновленной городской МС по нерегулируемым тарифам, выдача свидетельств об осуществлении перевозок по муниципальным маршрутам и карт маршрутов, а также заключение муниципальных контрактов для осуществления регулярных перевозок по регулируемым тарифам» [13];

4. четвертый этап (2020 год) предусматривает экономический анализ проведенных на предыдущих этапах мероприятий с одновременным учетом мнения населения о работе ОПТ, подготовка и утверждение документа планирования регулярных перевозок на последующий период.

Стоит отметить, что Администрация г. Омска уже приступила к реализации указанных выше мероприятий. Так в конце 2016 года были выявлены и рекомендованы к отмене дублирующие маршруты. В итоге с 1 января

2017 года были отменены 27 дублирующих маршрутов и «изменены действующие схемы движения ряда маршрутов общественного транспорта путем продления до территорий, где маршруты отменены» [14].

Кроме того в рамках реализации переходных положений Федерального закона были разработаны Приказ от 1 ноября 2016 года № 95 «О допуске юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к осуществлению регулярных перевозок по муниципальным маршрутам регулярных перевозок по нерегулируемым тарифам в границах города Омска» [15] и Решение Омского Городского совета от 17 февраля 2016 года № 427 «Об организации транспортного обслуживания населения на территории города Омска» [16]. Первый документ будет являться правовой основой регулирования деятельности перевозчиков, второй документ устанавливает и разграничивает обязанности участников СОПТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полноценное функционирование ОПТ в крупных и крупнейших городах способствует благоприятному развитию городской среды, повышению уровня жизни населения и социально-экономического развития города.

В процессе исследования дана общая характеристика ОПТ г. Омска. Выявлены тенденции, способствующие возникновению транспортных проблем в системе перевозок пассажиров городе. Так многолетнее функционирование ПС ОПТ М вместимости на МС в условиях слабого административно-правового воздействия со стороны властей города, а также увеличивающийся в последние годы уровень автомобилизации в г. Омске привели к возникновению транспортной напряженности на городских магистралях.

Более того, выявлены иные проблемы ОПТ города, влекущие за собой ряд негативных последствий. Определено, что проблемы ОПТ имеют причинно-следственную взаимосвязь. В итоге этот причинно-следственный комплекс проблем приводит к снижению уровня обслуживания пассажиров и к ослаблению социально-экономического развития города.

Изучены разработанные властями г. Омска пути решения проблем ОПТ в рамках реализации положений Федерального закона № 220-ФЗ [11]. Среди основных целей здесь – это совершенствование структуры парка ПС ОПТ по вместимости и количеству, ликвидация дублирующих маршрутов и формирование грамотных рычагов воздействия на частный сектор

пассажирских перевозок.

Таким образом, совершенствование СОПТ города необходимо для поддержания его здоровой среды и благосостояния граждан и поэтому всегда будет являться актуальным направлением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Численность населения Омской области и города Омска по полу и основным возрастным группам [Электронный ресурс] / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Омской области – Режим доступа : http://omsk.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/omsk/resources/037e9e004e1d7468a1eebdec9351daeb/nas_vozrast-2015.htm (дата обращения: 09.02.2017).

2. Приказ директора департамента транспорта Администрации города Омска от 23 марта 2016 года № 21 «О реестре муниципальных маршрутов регулярных перевозок в границах города Омска».

3. Омские маршрутки: 15-летний диалог властей и перевозчиков [Электронный ресурс] / Супер Омск. – Режим доступа : <http://superomsk.ru/news/13782> (дата обращения: 07.02.2017).

4. Вучик В.Р. Транспорт в городах, удобных для жизни: Пер. А. Калинина, ред. М. Блинкина. – М.: Территория будущего, 2011. – 576 с.

5. Транспорт и связь Омской области: стат. сб. / Омкстат. – Омск, 2010. – 80 с.

6. Транспорт и связь Омской области: стат. сб. / Омкстат. – Омск, 2012. – 86 с.

7. Транспорт и связь Омской области: стат. сб. / Омкстат. – Омск, 2014. – 73 с.

8. Транспорт и связь Омской области в 2014-2015 годах: стат. сб. / Омкстат. – Омск, 2016. – 72 с.

9. Проблемы тарифообразования на рынке услуг городского пассажирского транспорта г. Омска / Т. В. Новикова, А. С. Андреева // Вектор развития современной науки: материалы X Международной научно-практической конференции 3 апр. 2016 г. – М.: Издательство «Олимп», 2016. – С. 908-915.

10. Исследование резервов повышения эффективности маршрутной сети г. Омска / С.Ю. Ольховский, Ю.А. Болтенко // Архитектура, строительство, транспорт: Матер. междунар. науч.-практ. конф. (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ» [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2015. – Режим доступа : <http://bek.sibadi.org/fulltext/ESD75.pdf>.

11. Федеральный закон от 13.07.2015 № 220-ФЗ «Об организации регулярных пере-

возок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

12. Сорокин, С. В. Перспективы развития общественного пассажирского транспорта города Омска / С. В. Сорокин, М. Е. Каспер // Вестник СибАДИ. – 2015. – № 5(45). – С. 38-44.

13. Постановление Администрации города Омска от 15 июня 2016 года № 735-П «Об утверждении документа планирования регулярных перевозок по муниципальным маршрутам регулярных перевозок в границах города Омска».

14. С 1 января изменятся действующие схемы движения ряда маршрутов обществен-

ного транспорта [Электронный ресурс] / Официальный портал Администрации города Омска – Режим доступа : http://admomsk.ru/web/guest/government/divisions/36/news/-/asset_publisher/pD5F/content/642738 (дата обращения: 09.02.2017).

15. Приказ от 1 ноября 2016 года № 95 «О допуске юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к осуществлению регулярных перевозок по муниципальным маршрутам регулярных перевозок по нерегулируемым тарифам в границах города Омска».

16. Решение Омского Городского совета от 17 февраля 2016 года № 427 «Об организации транспортного обслуживания населения на территории города Омска».

PROBLEMS AND PROSPECTS OF PUBLIC TRANSPORT IN THE CITY OF OMSK

Ju. A. Boltenko

Abstract. The article reflects some problems of public transport in Omsk and reveals their cause-effect relationship. The modern state of the transport systems in cities of Russia is critical now. Looking for ways to solve the problems seems to be very urgent. The general description of the system of public passenger transport in Omsk is presented. It is concluded that the main problem of this system is to change the conditions and possibilities of financing public passenger transport. Prospects for improving of the public passenger transport of the city with regard to the provisions of the current legislation are identified.

Keywords: public passenger transport; system of public passenger transport; problems of public passenger transport; rolling stock of public transport; rolling stock of a small capacity.

REFERENCES

1. Chislennost' naselenija Omskoj oblasti i goroda Omska po polu i osnovnym vozrastnym gruppam [Elektronnyj resurs]. Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po omskoj oblasti – Rezhim dostupa : http://omsk.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/omsk/resources/037e9e004e1d7468a1eebdec9351daeb/nas_vozrast-2015.htm (data obrashhenija: 09.02.2017).
2. Prikaz direktora departamenta transporta Administracii goroda Omska ot 23 marta 2016 goda № 21 «O reestre municipal'nyh marshrutov reguljarnyh perevozok v granicah goroda Omska».
3. Omskie marshrutki: 15-letnij dialog vlastej i perevozchikov [Elektronnyj resurs]. Super Omsk. – Rezhim dostupa : <http://superomsk.ru/news/13782> (data obrashhenija: 07.02.2017).
4. Vuchik V.R. Transport v gorodah, udobnyh dlja zhizni: Per. A. Kalinina, red. M. Blinkina. M.: Territorija budushhego, 2011. 576 p.
5. Transport i svjaz' Omskoj oblasti: stat. sb. [Omskstat]. Omsk, 2010. 80 p.
6. Transport i svjaz' Omskoj oblasti: stat. sb. [Omskstat]. Omsk, 2012. 86 p.
7. Transport i svjaz' Omskoj oblasti: stat. sb. [Omskstat]. Omsk, 2014. 73 p.
8. Transport i svjaz' Omskoj oblasti v 2014-2015 godah: stat. sb. [Omskstat]. Omsk, 2016, 72 s.
9. Problemy tarifoobrazovanija na rynke uslug gorodskogo passazhirskogo transporta g. Omska. T. V. Novikova, A. S. Andreeva [Vektor razvitiya sovremennoj nauki: materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii 3 apr. 2016 g.]. M.: Izdatel'stvo «Olimp», 2016, pp. 908-915.
10. Issledovanie rezervov povyshenija jeffektivnosti marshrutnoj seti g. Omska. S.Ju. Ol'hovskij, Ju.A. Boltenko. Arhitektura, stroitel'stvo, transport: Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf.

лет. Передние и задние маски, крыша изготавливаются из стеклопластика, что дополнительно увеличивает коррозионную стойкость кузова. Блок электронного управления дизельного двигателя Cummins 6ISB 245 В обеспечивает передовую диагностику и позволяет программировать параметры работы двигателя. Блок цилиндров двигателя разработан с целью снижения шума, расхода масла на угар и повышения долговечности.

В ходе проведения эксплуатационных испытаний решались следующие задачи:

- подготовка к эксплуатационным испытаниям (проведение организационных мероприятий);
- отбор проб работавшего масла с заданной периодичностью;
- лабораторные исследования свойств работавшего масла.

Основным результатом эксплуатационных испытаний стали лабораторные исследования проб работавшего моторного масла.

В ходе лабораторных исследований оценивались физико-химические показатели, содержание механических примесей, продуктов износа и элементов-индикаторов присадок.

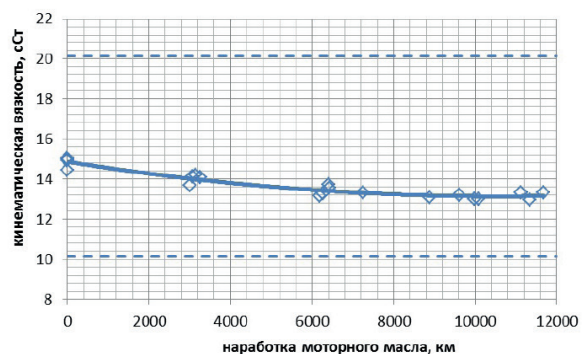


Рисунок 1 – Изменение вязкости моторного масла G-Profi MSI Plus SAE 15W-40 API CI-4/SL в зависимости от наработки

На рис. 1 представлены также допустимые диапазоны изменения вязкости по рекомендациям фирмы Камминз [1] ± 5 сСт от значения свежего моторного масла (пунктирные линии). Обработка данных лабораторных анализов показывает, что вязкость моторного масла находится в рамках допустимых значений на протяжении всего срока использования. Также обращает на себя внимание стабильность получаемых результатов для различных двигателей, что свиде-

тельствует как о высоком качестве моторного масла, так и о высоком уровне подготовки к эксплуатационным испытаниям. Одним из важнейших показателей качества моторного масла является соотношение кислотного и щелочного числа, а именно баланс между ними. В процессе эксплуатации моторное масло постепенно окисляется под воздействием высоких температур и кислот, образующихся при сгорании топлива, и щелочное число постепенно снижается, нейтрализуя кислотное воздействие. Поэтому моторное масло должно обладать достаточным щелочным числом [2].

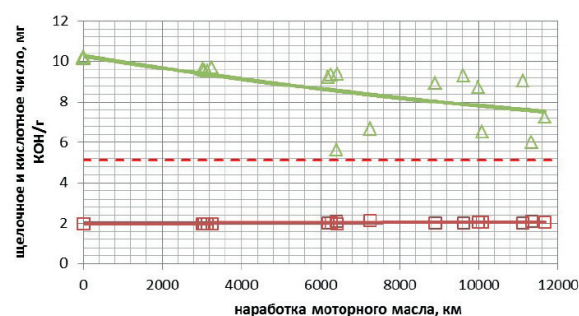


Рисунок 2 – Изменение кислотного и щелочного числа в процессе эксплуатации

На рис. 2 также показано предельно допустимый уровень снижения щелочного числа по рекомендациям фирмы Камминз [1], в соответствие с которыми значение щелочного числа моторного масла в процессе эксплуатации не должно уменьшаться ниже 50% от значения для свежего моторного масла. В нашем случае, допустимое значение щелочного числа составляет 5, 11 мг КОН/г. Как видно из рисунка щелочное число находится выше допустимого значения в течение всей наработки моторного масла и в исследуемом промежутке наработки баланса кислотного и щелочного числа не наступает. Таким образом, по показателю баланса кислотного и щелочного числа моторное масло остается работоспособным в течение всего срока подконтрольной эксплуатации [3,4].

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ИНДИКАТОРОВ ПРИСАДОК

Для получения необходимого уровня эксплуатационных свойств моторного масла в него вводят присадки, содержание которых можно оценить по элементам-индикаторам [4] (рис. 3).

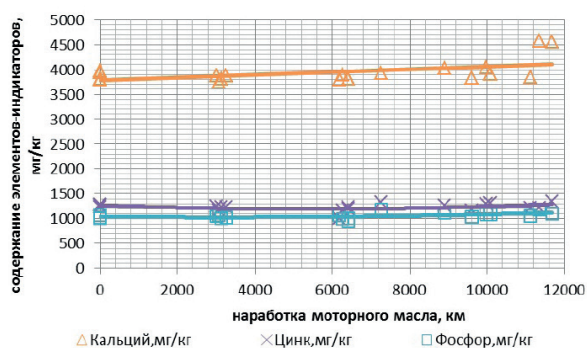


Рисунок 3 – Зависимости изменения содержания элементов-индикаторов присадок в моторном масле в зависимости от его наработки

Из графиков видно, что содержание элементов-индикаторов остается практически на одном уровне – уровне свежего моторного масла. Незначительные изменения объясняются погрешностями, а увеличение кальция к концу испытаний можно объяснить только попаданием извне, например доливка моторного масла с повышенным содержанием кальция относительно масла G-Profi MSI Plus [5]. Стабильные значения показателя говорят о стабильности свойств моторного масла, о высокой коллоидной стабильности масла и свидетельствуют о высоком качестве пакета присадок.

АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ ИЗНОСА

Процесс накопления продуктов износа и загрязнений является неизбежным, поскольку одной из основных функций моторного масла является вымывание продуктов износа и сопряжений [6]. При оценке качества моторного масла исследуют количество продуктов износа их состав. Количество продуктов износа позволяет косвенно определить интенсивность процесса износа деталей, а состав продуктов износа, позволяет выделить, какие именно детали изнашиваются интенсивнее. Так по содержанию хрома выше допустимого значения судят об износе компрессионных колец, содержание железа выше нормы говорит об износе стенки цилиндра, алюминий – износ поршней, олово, свинец – износ вкладышей коленчатого вала и т.д.

В данном исследовании рассмотрены четыре основных металла и сплава, которые были обнаружены в пробах моторного масла (рис. 4 и 5).

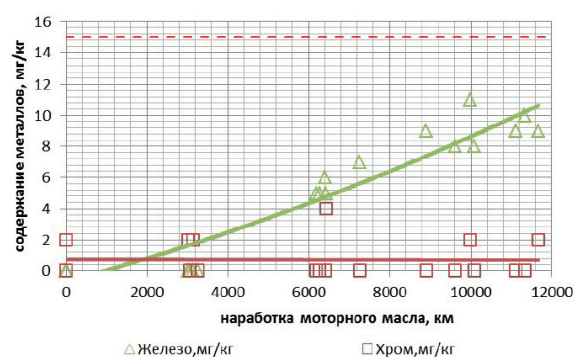


Рисунок 4 – Изменение содержания железа и хрома в моторном масле

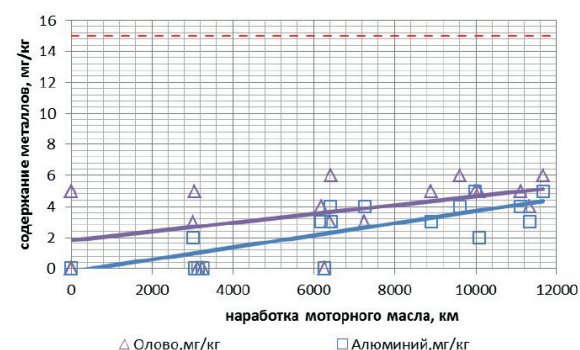


Рисунок 5 – Изменение содержания олова и алюминия в моторном масле

На рисунках также показана величина допустимых значений содержания продуктов износа в пробах работавшего моторного масла. Из представленных графиков видно, что больше всего в пробах масла содержится железа. Что объясняется высокой нагруженностью деталей и продолжающимся процессом притирки деталей (общая наработка автобусов не превышает 17 000 км) [7,8]. Тем не менее, величина железа в пробах моторного масла не превышает допустимой величины. Содержание других металлов, также находится в допустимых пределах и объясняется естественными процессами. Таким образом, анализ результатов лабораторных анализов проб работавшего масла подтверждает высокий уровень эксплуатационных свойств моторного масла G-Profi MSI Plus, заявленный производителем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения эксплуатационных испытаний моторное масло G-Profi MSI Plus показало себя как надежный высококачественный продукт, обладающий достаточным

запасом эксплуатационных свойств. Лабораторная оценка физико-химических показателей, а также спектральный анализ содержания элементов-индикаторов присадок и продуктов износа подтвердили высокий уровень эксплуатационных свойств, заявленных производителем. Показатели качества моторного масла не выходят за границы допустимых значений в пределах всего исследованного интервала. Запас эксплуатационных свойств по ряду показателей (вязкость, баланс щелочного и кислотного числа, содержание продуктов износа) дает возможность увеличения межсервисного интервала.

На основе анализа данных опытно-промышленных испытаний можно сделать вывод, что моторное масло G-Profi MSI Plus имеет достаточный запас эксплуатационных свойств по балансу кислотного и щелочного числа, вязкости, а это позволяет говорить о возможности продления межсервисного интервала замены моторного масла при соответствующем контроле эксплуатационных показателей. Высокие эксплуатационные свойства подтверждаются низкой интенсивностью накопления продуктов износа в масле. Содержание железа не превышает двух третей до предельного значения, а хрома, олова и алюминия не доходит и до половины максимальных концентраций.

Отсутствие загрязнений проб моторного масла топливом, охлаждающей жидкостью и механическими примесями говорит об отсутствии неисправностей в системах двигателей подконтрольных автобусов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Service Bulletin № 4960819-07. Рекомендации фирмы Камминз по применению и ана-

лизу моторных масел. – 2013. – 23 с.

2. Шаталов, К.В. Методы оценки эксплуатационных свойств моторных масел для тяжело нагруженных дизельных двигателей / К.В. Шаталов, А.В. Яковлев, С.В. Шишаев // Двигателестроение. – 2014. – № 4. – С. 36-42.

3. Корнеев, С.В. О работоспособности моторных масел / С.В. Корнеев // Двигателестроение. – 2014. – № 4. – С. 36-38.

4. Городецкий, К.И. Многопараметровая топливная характеристика дизеля Cummins / К.И. Городецкий, В.С. Гольнев, Е.П. Ершов, А.М. Раскин, А.Н. Прищепенко, Д.Н. Шуваев // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – №2. – С. 44-47.

5. Шувалов, Г.П. Исследование физико-химических свойств моторного масла с восстанавливающей добавкой / Г.П. Шувалов, В.Н. Половинкин, А.П. Ильин, Д.В. Тихонов, И.В. Клековкин, О.А. Ясырова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока-2013. – №2. – С. 184-186.

6. Корякина, В.В. Химические изменения, протекающие в моторных маслах в ходе их эксплуатации / В.В. Корякина, Е.Н. Тимофеева // Новые материалы и технологии в условиях Арктики : материалы международного симпозиума 25-27 июня 2014 г. Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова. – Якутск, 2014. – С 46-51.

7. Хазиев, А.А. Причины изменения свойств моторного масла / А.А. Хазиев, А.В. Лаушкин, Е.Б. Горина // Грузовик. – 2013. – № 6. – С.15-16.

8. Корнеев, С.В. Оценка достоверности прогнозирования периодичности смены моторного масла в двигателях / С.В. Корнеев, А.П. Серков // Омский научный вестник. – 2014. – № 1. – С. 62-65.

CHANGING THE CHARACTERISTICS OF THE ENGINE OIL DURING OPERATION OF THE CUMMINS ENGINE BUS FLEET OF THE CITY OF OMSK

S. V. Korneev, S. V. Pashkevich, A. S. Savos'kin, I. I. Shirlin

Abstract. This article presents the results of expert assessment of the technical condition of the diesel engine 6ISB Cummins 245 B that is installed on the buses of LiAZ 525653. The specified bus participated in field tests of a motor oil of G-Profi MSI Plus SAE 15W-40 API CI-4/SL, manufactured "Gazpromneft – SM". To determine the effect of the above engine oil on the technical condition of the engine under the control of the bus was conducted a complex of works on assessment of technical condition of the engine. Examines the changing characteristics of engine oils as kinematic viscosity, base number, and also evaluated the tribological properties of the content of wear products. The conclusions about the feasibility of using the investigated engine oil during operation of the bus fleet of Omsk.

Keywords: diesel engine, engine oil, bus, kinematic viscosity, base number

REFERENCES

1. Service Bulletin № 4960819-07. Rekomendacii firmy Kamminz po primeneniju i analizu motornyh masel [Recommendations of firm Kamminz on application and the analysis of engine oils]. 2013, 23 p.
 2. Shatalov K.V., Jakovlev A.V., Shishaev S.V. Metody ocenki jekspluatacionnyh svojstv motornyh masel dlja tjazhelonagruzhennyh dizel'nyh dvigatlej [Lube Oil for Heavy-Duty Diesel Engines: Performance Evaluation]. Dvgatelestroyeniye, 2014, no. № 4, pp. 36-42.
 3. Korneev, S.V. O rabotosposobnosti motornyh masel [About operability of engine oils]. Dvgatelestroyeniye. 2014. no. № 4, pp. 36-38.
 4. Gorodeckij K.I., Gol'nev V.S., Ershov E.P., Raskin A.M., Prishhepenko A.N., Shuvaev D.N. Mnogoparametrovaja toplivnaja harakteristika dizel'ja Cummins [A multiparameter fuel characteristic of the Cummins diesel]. Tractors and agricultural machinery, 2012, no. №2, pp. 44-47.
 5. Shuvalov G.P., Polovinkin V.N., Il'in A.P., Tihonov D.V., Klekovkin I.V., Jasyrova O.A. Issledovanie fiziko-himicheskikh svojstv motornogo masla s vosstanavlivajushhej dobavkoj [Research of physical and chemical properties of engine oil with the restoring additive]. Scientific problems of transport of Siberia and the Far East, 2013, no. №2, pp. 184-186.
 6. Korjakina, V.V., Timofeeva E.N. Himicheskie izmenenija, protekajushhie v motornyh maslah v hode ih jekspluatacii [The chemical changes proceeding in engine oils during their operation]. Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma «Novye materialy i tehnologii v uslovijah Arktiki» [Materials of the international symposium "New materials and technologies in the conditions of the Arctic"]. Yakutsk, Northeast federal university of M. K. Ammosov, 2014, pp. 46-51.
 7. Haziev A.A., Laushkin A.V., Gorina E.B. Prichiny izmenenija svojstv motornogo masla [Woy does motor oil work out]. Truck. 2013. no. № 6. pp.15-16.
 8. Korneev, S.V. Ocenka dostovernosti prognozirovaniya periodichnosti smeny motornogo masla v dvigatel'jah [Assessment of the reliability of forecasting of period of oil change in engines]. Omsk Scientific Bulletin, 2014, no. № 1, pp. 62-65.
- Корнеев Сергей Васильевич (Россия, Омск) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Химическая технология и биотехнология» ФГБОУ ВО «ОмГТУ» (644050, г.Омск, пр. Мира, д. 11; E-mail: nhi@omgtu.ru).*
- Пашукевич София Вячеславовна (Россия, Омск) – студент группы ЭРС-141 кафедра «Химическая технология и биотехнология» ФГБОУ ВО «ОмГТУ» (644050, г.Омск, пр. Мира, д. 11; E-mail: sofia96@bk.ru).*
- Савоськин Артем Сергеевич (Россия, Омск) – магистрант кафедры «Химическая технология и биотехнология» ФГБОУ ВО «ОмГТУ» (644050, г.Омск, пр. Мира, д. 11; E-mail: iskander0606@gmail.com).*
- Ширлин Иван Иванович (Россия, Омск) – кандидат технических наук, кафедра «Химическая технология и биотехнология» ФГБОУ ВО «ОмГТУ» (644050, г.Омск, пр. Мира, д. 11; E-mail: sii_dvs@mail.ru).*
- Korneev Sergei Vasilyevich (Russia, Omsk) – doctor of technical Sciences, Professor, Professor of chair "Chemical technology and biotechnology" of the "OmGTU" (644050, Omsk, Mira prospect., 11; E-mail: nhi@omgtu.ru).*
- Pashukevich, Sofia Vyacheslavovna. (Russia, Omsk) – a student group of ERS-141 Department of "Chemical technology and biotechnology" of the "OmGTU" (644050, Omsk, Mira prospect., 11; E-mail: sofia96@bk.ru).*
- Savos'kin Artem Sergeevich (Russia, Omsk) – postgraduate of the chair "Chemical technology and biotechnology" of the "OmGTU" (644050, Omsk, Mira prospect., 11; E-mail: iskander0606@gmail.com).*
- Sirlin, Ivan Ivanovich (Russia, Omsk) – candidate of technical Sciences, Department "Chemical technology and biotechnology" of the "OmGTU" (644050, Omsk, Mira prospect., 11; E-mail: sii_dvs@mail.ru).*

УДК 621.43

ПРИЧИНЫ ИНТЕНСИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ЯМЗ-238НБ

С.А. Корнилович
ФБГОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.П. Столыпина», Россия, г. Омск

Аннотация. В статье изложены результаты контроля технического состояния в процессе ремонта цилиндров двигателей. Обоснована необходимость диагностирования цилиндров по

структурным параметрам путем прямых измерений с частичной или полной разборкой двигателей. Сделано описание порядка выполнения прямых измерений цилиндров, образующиеся формы износа, возможные погрешности взаимного расположения поверхностей и осей деталей цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунного механизма и их влияние на процесс изнашивания цилиндров.

Ключевые слова: Цилиндр, износ, интенсивность, двигатель, контроль, зазор, перекося, поршень.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации отремонтированных двигателей внутреннего сгорания (далее кратко двигатели) возникают различного вида неисправности и отказы. Информацию об отказах и им предшествующих неисправностях исполнители ремонта получают от владельцев двигателей как обычно с опозданием и в краткой форме рекламаций, в которых нет полного и объективного описания ни дефектов, ни точных причин отказов. Информация об уже совершившихся отказах для специалистов ремонтных мастерских и предприятий практически остается только констатацией либо низкого уровня качества выполнения операций при ремонте, либо нарушения правил эксплуатации двигателей. В ситуации отсутствия обратной связи для исполнителей ремонта принятие технологических мер по устранению причин неисправностей впредь становится сложной проблемой. Отклонения от нормальной работы двигателей, послужившие причиной отказа, можно было бы установить определенно диагностированием по параметрам рабочего процесса [1, 2]. Однако диагностирование по параметрам рабочего процесса двигателей или по параметрам сопутствующих процессов возможно только в случаях, когда двигатель, имея неисправность, остается в работоспособном состоянии.

Как показала практика ремонта двигателей на ремонтно-сервисном производственном предприятии «Степное», при таких обстоятельствах выяснение причин отказов возможно диагностированием, но только по структурным параметрам путем прямых измерений с частичной или полной разборкой. Например, за 21 месяц эксплуатации тракторов «Кировец» с двигателями, прошедшими ремонт на этом предприятии, было предъявлено 398 рекламаций, из числа которых в 239 случаях двигатели были в неработоспособном состоянии.

Анализ сведений рекламаций, проведенный автором, показал многочисленные и разнообразные признаки, предшествующие отка-

зам: стук при работе двигателя – 76 случаев; спад давления масла в магистрали – 29; выброс масла и его перерасход – 23; усиленное выделение газов через сапун – 15; падение мощности – 10 и др. Без указания предполагаемых признаков в рекламациях об отказах было случаев заклинивания двигателя – 25; поломки коленчатого вала – 8; расплавление подшипников коленчатого вала – 6; обрывов шатуна и пробоев блока – 4; обрывов поршня – 3. В 40 рекламациях признаки неисправностей и отказов владельцами двигателей не установлены.

С целью определения причин неисправностей и отказов и планирования технологических операций, обеспечивающих необходимую точность ремонта, выполнены экспериментальные исследования на предмет изучения закономерностей влияния погрешностей об-

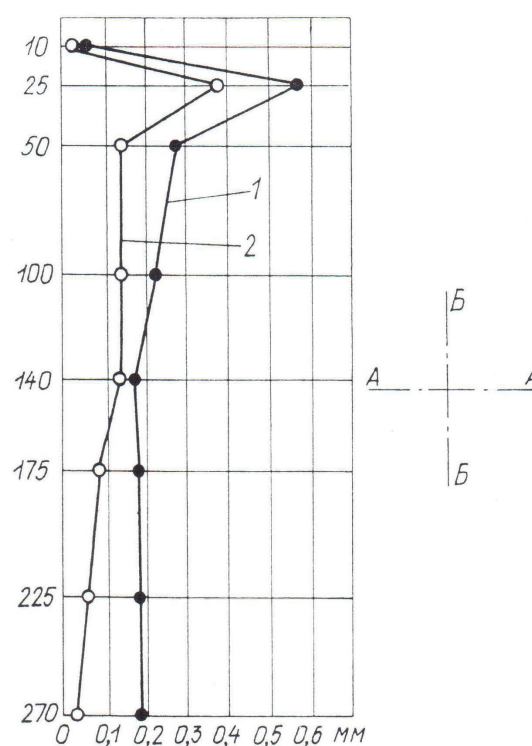


Рисунок 1 – Кривые нормального износа:
1 – в плоскости качания шатуна Б – Б;
2 – в плоскости продольной оси двигателя А – А

работки деталей цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма на износ цилиндров. Изложены рекомендации по выполнению операций контроля точности сборки цилиндропоршневой группы.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является процесс изучения и оценки износа зеркала цилиндров двигателей, прошедших ремонт. Практика производственной эксплуатации двигателей ЯМЗ – 238НБ и ЯМЗ – 240Б показала их ненадежность. Установлены многочисленные случаи снижения мощности двигателей, перерасхода масла, чрезмерного выделения газов через сапун, стуки в двигателе. Это явилось основанием для вывода о том, что причиной перечисленных неисправностей может быть значительное увеличение зазора в соединении поршень – цилиндр. Увеличение зазоров в основном это результат интенсивного изнашивания деталей цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма [3, 4]. С целью выявления причин интенсивного износа планировалось прямое измерение размеров цилиндров двигателей ЯМЗ – 238НБ, коленчатые валы которых были шлифованы на ремонтные размеры при предшествующем ремонте. Цилиндры выбирали преднамеренно, из каждого двигателя по два цилиндра из блоков соответствующих кривошипов одного и того же ряда. Контрольная выборка составляла 32 цилиндра из 16 двигателей.

Для определения величины и формы износа зеркала цилиндра в качестве критерия было принято отклонение от нормального диаметра в восьми сечениях на определенном расстоянии отдельно в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Измерения выполнялись индикатором – нутромером НИ-100 – 160 в восьми сечениях во взаимно перпендикулярных плоскостях, в плоскости ряда цилиндров А – А и в плоскости качания шатунов Б – Б (рисунок 1). Плоскости сечений с №1 по №8 по высоте располагались от верхнего торца цилиндра на расстоянии: №1 – 10мм; №2 – 25мм; №3 – 50мм; №4 – 100мм; №5 – 140мм; №6 – 175мм; №7 – 225мм.; №8 – 270мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Измерения выполнялись с трех и пятикратной повторностью, всего сделано 512 измерений. При каждом измерении определены отклонения от настроечного размера 130 мм. По сечениям цилиндров участки, имеющих

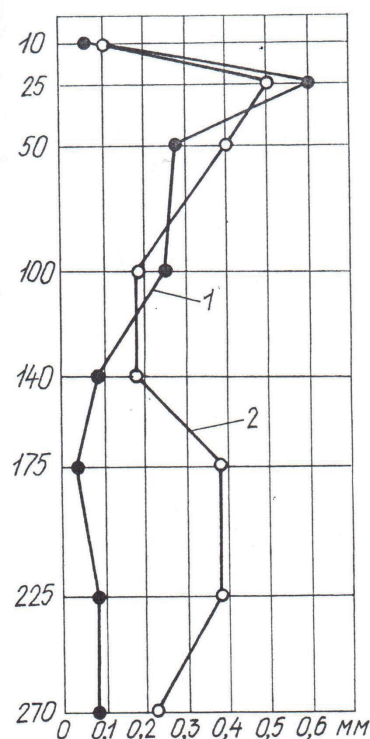


Рисунок 2 – Кривые аномального износа цилиндра по данным группы б1; 1 – в плоскости качания шатуна Б-Б; 2 – в плоскости продольной оси двигателя А-А

максимальное и минимальное значение, разделены на восемь групп, условно обозначенные буквами а1, а2, б1, б2, в1, в2, г1, г2. Определено среднее значение износа по сечениям и плоскостям каждой группы.

Наибольший износ имели цилиндры в плоскости А-А в пределах от 50 до 95 мкм, преимущественно в сечениях №2 и №3, а также в других сечениях кроме №1 и №8 в группах цилиндров б1, в1, в2, г1 и г2. В плоскости Б-Б износ значительно меньше и не превышает 60 мкм.

По расположению большей оси овала, образовавшегося в результате изнашивания зеркала цилиндра, подконтрольные цилиндры разделены на имеющие нормальный и аномальный износ. Под нормальным имеется в виду износ, при котором большая ось овала расположена в плоскости качания шатуна. Другим признаком нормального износа является то, что износ увеличивается по зеркалу цилиндра снизу вверх и достигает максимума вблизи верхней мертвой точки. Под понятием аномальному относится износ, когда большая ось овала расположена в плоскости вдоль ряда цилиндров.

Из 32 цилиндров нормальный износ имели

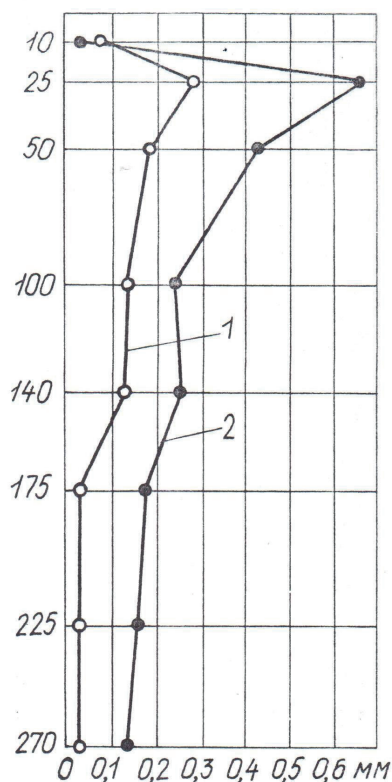


Рисунок 3 – Кривые аномального износа цилиндра по данным в1: 1 – в плоскости качания шатуна Б-Б; 2 – в плоскости продольной оси двигателя А-А

14 из 10 двигателей. Среднее значение износа по сечениям и по плоскостям А-А и Б-Б по десяти цилиндрам отнесены к группе а1, по четырем – группе а2. По отклонениям размеров группы а1 построен график кривых износа (рисунок 1). На графике видно, что износ в плоскости Б – Б (кривая 1) превышает износ в плоскости А – А (кривая 2). Такое превышение износа одинаково на всех уровнях по высоте цилиндров. Другие 18 цилиндров (56% от общего числа контролируемых) из 12 двигателей имели аномальный износ. Большая ось овала у этих цилиндров расположена в плоскости А – А. Размеры износа цилиндров по их высоте – неодинаковые.

В зависимости от величины износа по высоте цилиндры сгруппированы следующим образом. Цилиндры с большим износом в верхней и нижней частях отнесены к группе б1 и б2. Цилиндры с одинаково превышающим по всей высоте в плоскости А – А отнесены к группе в1, а имеющие одинаковую величину износа в обеих плоскостях А – А и Б – Б – к группе в2. К группе г1 отнесены цилиндры с увеличенным износом в середине зеркала цилиндра, к группе г2 – с износом в средней и верхней частях.

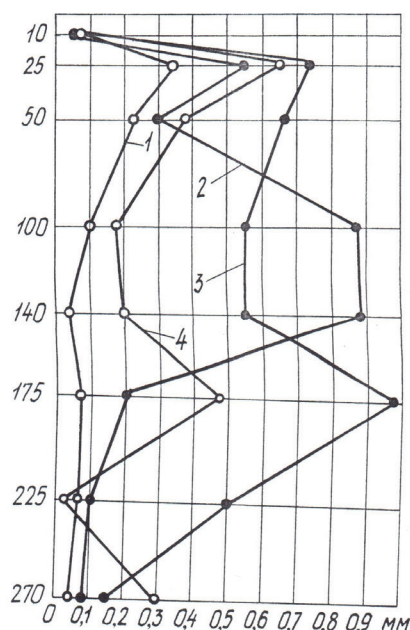


Рисунок 4 – Кривые аномального износа цилиндра по данным групп г1 и г2; 1 и 4 – в плоскости качания шатуна Б-Б; 2 и 3 – в плоскости продольной оси двигателя А-А

По данным группы б1 построен график износа (рисунок 2). На графике видно (кривая 2), что в нижней части цилиндра на расстоянии 175 и 225 мм от верхнего торца износ значительно больше, чем в средней. Увеличен износ и в верхней части на уровне 50 мм от торца цилиндра.

Формы кривых износа цилиндров группы в1 (рис. 3) отличаются от формы кривых нормального износа (рис. 1) местами расположения участков с наибольшим износом. Оси овалов, образовавшихся при изнашивании, во всех сечениях расположены в продольной плоскости А – А (кривая 2). Особенность характера износа цилиндров группы в2 в том, что размеры износа очень близки по величине в обеих плоскостях (продольной и ей перпендикулярной).

У восьми цилиндров групп г1 и г2 (25% от общего числа контролируемых) износ имел наибольшее значение в продольной плоскости в средней части зеркала. Кривые износа 2 и 3 в этой плоскости показаны на графике (рис. 4). Расположение точек на этих кривых заметно различается.

Максимальный износ происходит у цилиндров группы г1, (в группе 6 цилиндров) как видно на кривой 2 (рис. 4) в центре по сечениям 100 и 140 мм, а у цилиндров группы г2 – по

сечениям 175 и 25 мм (кривая 3). Сравнивая износ цилиндров по сечениям измерения и по плоскостям А – А и Б – Б можно сделать вывод о том, что площадь просвета между поршнями и зеркалом цилиндров больше во всех случаях аномального износа. Естественно, что с увеличением площади просвета газы прорываются в картер интенсивнее, падает мощность двигателя, усиливается угар масла.

Причиной аномального износа цилиндров является перекошенность осей поршней и цилиндров в продольной плоскости блока двигателя. Перекошенное положение осей может быть следствием погрешностей и отклонений при выполнении операций шлифования коренных и шатунных шеек коленчатых валов на ремонтные размеры, расточки отверстий в головках шатунов, расточки опор коренных подшипников коленчатого вала и посадочных мест под цилиндры в блоке двигателя, расточка цилиндров в случае их восстановления.

В случаях перекошенности оси шатунных шеек в плоскости ХОZ при повороте кривошипа поршень будет принимать перекошенное положение у верхней мертвой точки (ВМТ) с наклоном днища влево (рис. 5а) и у нижней мертвой точки (НМТ) с наклоном днища вправо (рис. 5в). В середине цилиндра в месте перехода с левого наклонного положения в правое перекошенности нет (рис. 5б). При таких изменениях положения поршня объясняется характер кривых аномального износа контрольных цилиндров группы в1.

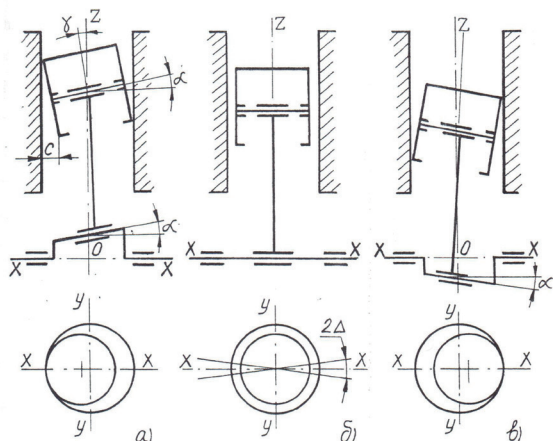


Рисунок 5 – Схема кривошипно-шатунного механизма ДВС при непараллельном положении оси шатунных шеек в координатной плоскости ХОZ: а – поршень в верхней мертвой точке; б – поршень в середине цилиндра; в – поршень в нижней мертвой точке

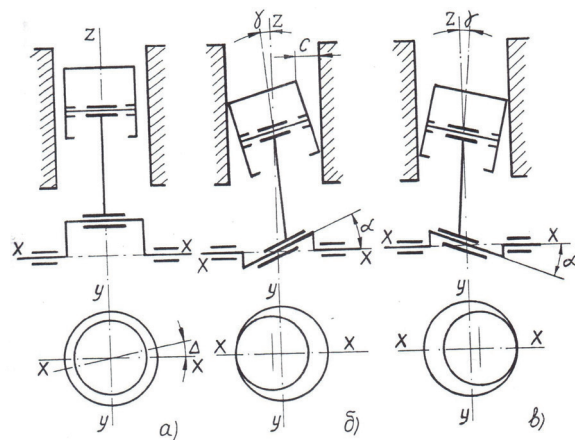


Рисунок 6 – Схема кривошипно-шатунного механизма при перекошенности оси шатунных шеек в координатной плоскости ХОY: а – поршень в верхней мертвой точке; б – поршень в середине цилиндра при повороте кривошипа на угол 90°; в – поршень в середине цилиндра при повороте кривошипа на угол 270°

В положении ВМТ и НМТ угол наклона оси поршня γ равен углу перекошенности оси шатунной шейки α (рис. 5а). Перекошенность поршня при этом будет максимальной. Зазоры у верхнего и нижнего торцов поршня тоже будут максимальными. Величину зазоров $C_{\max}$ можно определить по формуле:

$$C_{\max} = h_n \cdot \sin \gamma = h_n \cdot \sin \alpha, \quad (1)$$

где h_n – высота поршня.

При перекошенности оси шатунной шейки коленчатого вала на угол равный одной минуте и при высоте поршня равной 175 мм (двигателя ЯМЗ – 238НБ) зазор C при перекошенности поршня составит 0,05 мм. При перекошенности оси шейки под углом пять и восемь минут зазор C из-за перекошенности поршня составит соответственно 0,20 и 0,40 мм. Учитывая, что диаметральный зазор в соединении поршень – цилиндр должен быть не менее 0,05 мм, зазоры 0,20 и 0,40 между зеркалом цилиндра и перекошенным поршнем могут быть компенсированы за счет суммарного зазора в соединениях кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и цилиндропоршневой группы (ЦПГ) [5].

По техническим требованиям на ремонт двигателей ЯМЗ-238НБ минимальный суммарный зазор в соединениях шатунная шейка – подшипник, поршневой палец – втулка головки шатуна, поршень – гильза составляет: минимальный – 0,30 мм, максимальный – 0,47 мм. Следовательно, при минимальном суммарном зазоре контролируемой величиной пе-

рекоса поршня в продольной плоскости XOZ могут быть зазоры 0,20 и 0,40 мм, как предельно компенсируемые.

Некомпенсируемый перекося поршня в продольной плоскости вызывает деформацию деталей КШМ и ЦПГ, что приводит к повышению контактных напряжений в местах прилегания поршня к зеркалу цилиндра и интенсивному изнашиванию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Причиной аномального износа цилиндров двигателей ЯМЗ-238НБ является перекося поршней в цилиндрах. Перекося поршня следует считать предельным, когда суммарный минимальный зазор для двигателей ЯМЗ-238НБ составляет 0,20 – 0,40 мм. Перекося поршней становится явным только после сборки КШМ и ЦПГ. Так как, в процессе заворачивания резьбовых соединений детали подвергаются упругому деформированию [6]. Следовательно, определять наличие перекося поршней и измерять его значение необходимо в процессе сборки двигателя после укладки коленчатого вала, установки цилиндров в блок-картер и монтажа поршней с шатунами до крепления поддона картера и головки цилиндров. Цилиндры должны быть прижаты к посадочному месту в блок-картере с усилием равным усилию затяжки головки цилиндров [6].

Суммарный зазор между поршнем и цилиндром необходимо измерять в продольной

плоскости ряда цилиндров в трех положениях поршня у ВМТ, в середине цилиндра и у НМТ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бугаев В.Н. Эксплуатация и ремонт форсированных тракторных двигателей / В.Н. Бугаев – М.: Колос, 1981. – 208 с.
2. Надежность и ремонт машин: учебники и учеб. пособия для высших учебных заведений / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тедьнов, К.А. Ачкасов и др.; под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
3. Триботехника: учебник / В.В. Шаповалов, В.А. Кохановский, А.Ч. Эфкенов; под ред. В.В. Шаповалова. – Ростов н/Д: Феникс, 2017. – 348 с.
4. Корнилович С.А. Результаты исследования возможности применения ремонтно-восстановительных составов при эксплуатации автотракторных двигателей / Вестник СибАДИ. – 2017. – № 6(40) – С. 20-26.
5. Погорелый И.П. Обкатка и испытание тракторных и автомобильных двигателей. / И.П. Погорелый – М.: Колос, 1973. – 208 с.
6. Соловьев В.Л. Обеспечение точности и равномерности затяжки групповых резьбовых соединений при сборке узлов машин сельскохозяйственного назначения в условиях ремонта и технического обслуживания / Соловьев В.Л., Корнилович С.А. // Сельский механизатор. – 2013. – №3. – С. 44-45.

THE REASONS OF INTENSIVE WEAR OF CYLINDERS OF YAMZ ENGINES – 238NB

S. A. Kornilovich

Abstract. It is stated results of control in the course of repair of technical condition of cylinders of engines. Need of diagnosing of cylinders in structural parameters by direct measurements with partial or full dismantling of engines is proved. The description of an order of performance of direct measurements of cylinders, the formed wear forms, possible errors of a relative positioning of surfaces and axes of details of tsilindroporshnevy group, a crank – the conrod mechanism and their influence on process of wear of cylinders is made.

Keywords: Cylinder, wear, intensity, engine, control, gap, distortion, piston.

REFERENCES

1. Bugaev V.N. EHkspluatatsiya i remont forsirovannyh traktornyh dvigatelej / V.N. Bugaev – M.: Kolos, 1981. – 208 s.
2. Nadezhnost' i remont mashin: uchebniki i ucheb. posobiya dlya vysshih uchebnyh zavedenij / V.V. Kurchatkin, N.F. Ted'nov, K.A. Ach-

kasov i dr.; pod red. V.V. Kurchatkina. – M.: Kolos, 2000. – 776 s.

3. Tribotekhnika: uchebnik / V.V. SHapovalov, V.A. Kohanovskij, A.CH. EHfkenov; pod red. V.V. SHapovalova. – Rostov n/D: Feniks, 2017. – 348 s.

4. Kornilovich S.A. Rezul'taty issledovaniya vozmozhnosti primeneniya remontno-vosstanovi-

tel'nyh sostavov pri ehkspluatacii avtotraktornyh dvigatelej / Vestnik SibADI. – 2017. – № 6(40) – S. 20-26.

5. Pogorelyj I.P. Obkatka i ispytanie traktornyh i avtomobil'nyh dvigatelej. / I.P. Pogorelyj – M.: Kolos, 1973. – 208 s.

6. Solov'ev V.L. Obespechenie tochnosti i ravnomernosti zatyazhki gruppovyh rez'bovyh soedinenij pri sborke uzlov mashin sel'skohozyajstvennogo naznacheniya v usloviyah remonta i tekhnicheskogo obsluzhivaniya / Solov'ev V.L., Kornilovich S.A. // Sel'skij mekhanizator. – 2013. – №3. – С. 44-45.

Корнилович Станислав Антонович (Омск, Россия) доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А.Столыпина» (Россия, 644008, Омск, Институтская площадь, 1, e-mail: st.omsk55@mail.ru)

Kornilovich Stanislav Antonovich (Omsk, Russia) Doctor of Engineering, Federal state budgetary educational institution of higher education «Omsk state agrarian University named after P. A. Stolypin» (Russia, 644008, Omsk, Institutsкая ploshad', 1, e-mail: st.omsk55@mail.ru)

=====

УДК 629.11

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРОВ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*В.Е. Овсянников, В.И. Васильев
ФГБОУ ВО Курганский государственный университет, Россия г. Курган*

Аннотация. В данной статье рассмотрены вопросы моделирования деятельности операторов диагностического оборудования предприятий автотранспортного комплекса. Проведен анализ основных аспектов, которые обуславливают специфику выбора типа модели. Установлено, что наиболее рационально применение имитационных моделей. Разработана имитационная модель, позволяющая реализовывать алгоритмы деятельности операторов с любыми значениями психологической напряженности на стадии проектирования оборудования.

Ключевые слова: оборудование, проектирование, имитационная модель.

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции развития технических средств ремонта и диагностирования автотранспортных средств обуславливают рост информационной и эмоциональной нагрузки на персонал [1,2]. Для объяснения этого есть ряд причин:

1. По мере развития техники растет число объектов и факторов управления. Это приводит к увеличению сложности операций, связанных с планированием, организацией труда, а также контролем и управлением основными вспомогательными процессами.

2. Развитие дистанционных систем управления привело к тому, что оператор зачастую не находится в непосредственном контакте с объектами управления, и о его состоянии судит не по данным непосредственных наблюдений, а по сигналам от устройств вывода

информации. Отсюда следует, что информационная нагрузка на оператора существенно возрастает.

3. Увеличение степени сложности и быстроты протекания процессов в системах приводит к росту требований по точности принимаемых операторами решений. Данное обстоятельство в свою очередь влечет рост ответственности оператора, за те решения, которые он принимает. При этом несущественные ошибки могут вызвать нарушение работы всей человеко-машинной системы. Это приводит к росту нервно-психологической нагрузки на оператора. Таким образом, в человеко-машинных системах основным фактором становится не физические нагрузки на оператора, а психологическая напряженность труда.

4. Человеко-машинные системы являются автоматизированными, что требует от оператора быть постоянно готовым к экстренным

действиям. Если процессы функционирования человеко-машинной системы не отклоняются от нормы, то от оператора требуется только осуществление наблюдения и контроля. Однако при возникновении нештатных ситуаций, оператору необходимо в очень короткое время предпринять активные действия для того, чтобы ликвидировать возникшие отклонения. При этом от оператора требуется переработка большого объема информации за короткий промежуток времени, а затем принятие правильного решения. Это приводит к возникновению перегрузок оператора.

На эффективность принятия информации оператором могут влиять параметры устройств индикации, свойства потоков входящей информации и их влияние на психологическое восприятие оператором (параметры цветовой палитры, форма представления информации и т.д.) [3-5]. На качество переработки и анализа информации влияет ее кодировка, объем сообщения, динамика обновлений, индивидуальные свойства личности оператора. На процесс принятия решений влияет сложность решаемых задач, количество, длина и сложность логических цепочек, которые имеются в алгоритме, разнообразие вероятных решений задачи и т.д.

Эффективность управляющих воздействий на систему определяется количеством управляющих органов, их типом и возможным размещением, а также параметрами, характеризующими совместимость человеческих и машинных компонентов (соответствие размеров и силовых параметров органов управления физическим возможностям человека).

Для того, чтобы обеспечить заданный уровень эффективности процессов диагностирования и ремонта автотранспортных средств с использованием сложного оборудования, необходимо на стадии его проектирования получить высокую степень человеко-машинной совместимости [3-5]. Одним из инструментов решения данной задачи является использование моделирования.

Моделирование процессов работы человека-оператора это один из наиболее важных методов, которые используются, в том числе и при проектировании систем «человек-машина». Оно используется в тех ситуациях, когда исследовать реальную деятельность невозможно. Такие ситуации возникают, например, при проектировании систем «человек-машина», когда реальной деятельности еще нет, поэтому моделирование является основным (а иногда и единственным) методом исследования будущей деятельности.

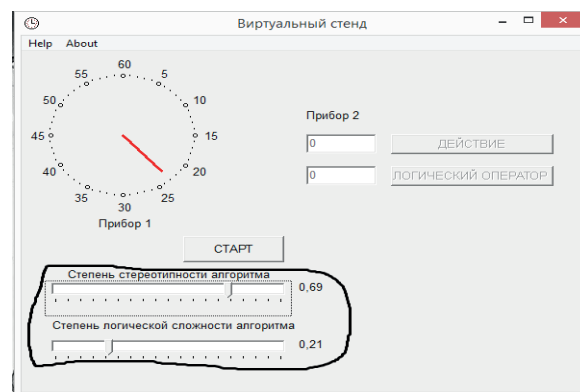


Рисунок 1 – Задание параметров алгоритма

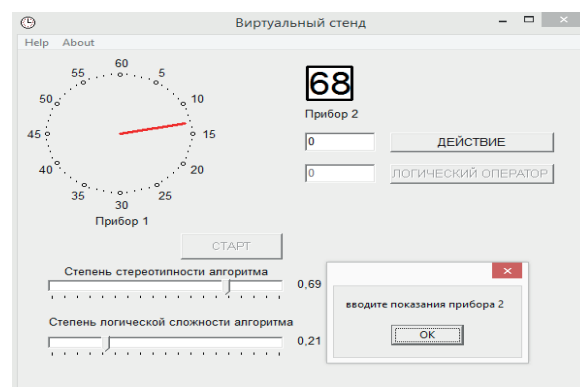


Рисунок 2 – Реализация стереотипных действий

Применение моделирования позволяет получить эффективные решения поставленных задач только в том случае, если модель будет выбрана правильно. Классификационным признаком для моделей операторской деятельности является способ их построения [3-5]. По нему модели можно подразделить на знаковые, мысленные и вещественные. Также выделяют отдельный класс моделей – имитационные.

Учитывая специфику поставленных задач, связанных с решением вопросов на этапе проектирования оборудования, наиболее подходящим классом моделей являются имитационные, т.к. их, возможно, относительно просто перестроить для исследования других объектов.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

В рассматриваемой работе имитационная модель строится на основе формирования алгоритмов действий с заданными заранее значениями параметров стереотипности и логической сложности [5] без построения математической или физической модели. Этот подход был использован при разработке ком-

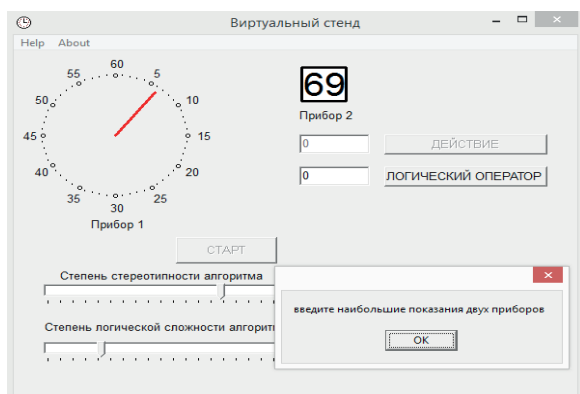


Рисунок 3 – Реализация логических операций

пьютерной программе в среде Delphi, которая представляет собой информационную панель, снабженную элементами для вывода и ввода информации (рис. 1).

Вывод информации реализован в виде двух табло: на одном данные представляются в цифровом виде, а на другом их необходимо считывать со стрелочного циферблата. Стереотипное действие предполагает ввод данных с одного из приборов (рис. 2).

Логические действия требуют анализа и сравнения данных. В данном случае необходимо ввести большее, либо меньшее из показаний приборов (рис. 3).

Процесс выполняется циклически посредством введения новых параметров следующей группы операторов (рис. 4):

Вычисление коэффициентов логической сложности и стереотипности при этом выполняется по всему алгоритму в целом посредством усреднения данных для отдельных групп операторов.

ВЫВОДЫ

Разработанная имитационная модель дает возможность:

1. На этапе проектирования оборудования осуществлять изучение влияния параметров рабочих алгоритмов на эффективность работы системы;

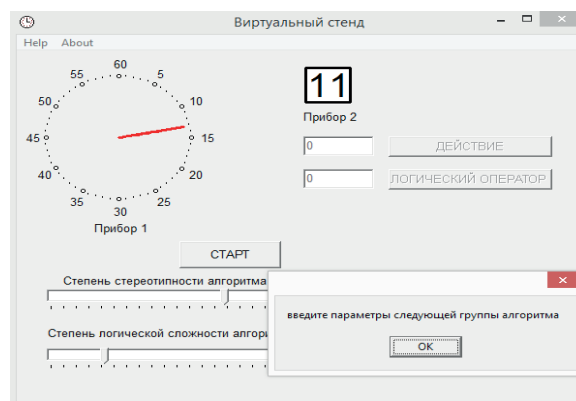


Рисунок 4 – Ввод параметров новой части алгоритма

2. Предусмотрена возможность введения других элементов в состав модели (например, устройств индикации, кнопок или других органов управления и т.д.), что позволяет привести в соответствие модель и объект-оригинал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев В.И. Определение оптимальной информационной структуры при проектировании постов диагностирования / В.И. Васильев, В.Е. Овсянников, Е.А. Войтеховская // Материалы 4-ей Международной научно-практической интернет-конференции, под общей редакцией д.т.н., проф. А.Н. Новикова. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2014. – с. 29-35.
2. Вудсон У. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников-конструкторов / У. Вудсон, Д. Коновер. – М.: Мир, 1968. – 260 с.
3. Горшков С. И. Методики исследования в физиологии труда / С.И. Горшков, З.М. Золина, Ю.В. Мойкин. – М.: Медицина, 1974. – с. 96.
4. Гэрбов Ф.Д. Психоневрологические аспекты труда операторов / Ф.Д. Гэрбов, В.И. Лебедев. – М.: Медицина, 1975. – 206 с.
5. Дмитриева М.А. Психология труда и инженерная психология / М.А. Дмитриева, А.А. Крылов, А.И. Нафтельев. – Л.: изд-во ЛГУ, 1979. – 220 с.

MODELLING OF ACTIVITY OF OPERATORS OF THE DIAGNOSTIC EQUIPMENT OF THE MOTOR TRANSPORTATION ENTERPRISES

V. E. Ovsyannikov, V. I. Vasilyev

Abstract. In this article questions of modeling of activity of operators of the diagnostic equipment of the enterprises of a motor transportation complex are considered. The analysis of the main aspects

which cause specifics of the choice like model is carried out. It is established that application of imitating models is the most rational. The imitating model allowing to realize algorithms of activity of operators with any values of psychological tension at an equipment design stage is developed.

Keywords: equipment, design, imitating model.

REFERENCES

1. Vasilyev V. I. Definition of optimum information structure at design of posts of diagnosing [Opredelenie optimal'noj informacionnoj struktury pri proektirovanii postov diagnostirovaniya] / V. I. Vasilyev, V. E. Ovsyannikov, E. A. Voytekhovskaya // Materials to 4-her the International scientific and practical Internet conference, under the general edition the Dr.Sci.Tech., the prof. A. N. Novikov. – Eagle: FGBOU VPO "State University – UNPK", 2014. – page 29-35.
2. Vudson U. The reference book on engineering psychology for engineers and designers [Spravochnik po inzhenernoj psikhologii dlya inzhenerov i hudozhnikov-konstruktorov] / U. Vudson, D. Konover. – M.: World, 1968. – 260 pages.
3. Gorshkov S.I.. Research techniques in physiology of work [Metodiki issledovaniya v fiziologii truda] / Page. I. Gorshkov, Z. M. Zolina, Yu. V. Moykin. — M.: Medicine, 1974. – page 96.
4. Gerbov V.I. Psychoneurological aspects of work operators [Psichonevrologicheskie aspekty truda operatorov] / F.D. Gerbov, V. I. Lebedev. – M.: Medicine, 1975. – 206 with.
5. Dmitriyev M. A. Psikhologiya of work and

engineering psychology [Psikhologiya truda i inzhenernaya psikhologiya] / M. A. Dmitriyeva, A. A. Krylov, A. I. Naftelyev. – L.: LIE publishing house, 1979. – 220 pages.

Овсянников Виктор Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инноватика и менеджмент качества» ФГБОУ ВО Курганский государственный университет (640020, г. Курган, ул. Советская 63, стр. 4, e-mail: vik9800@mail.ru)

Васильев Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт и автосервис» ФГБОУ ВО Курганский государственный университет (640020, г. Курган, ул. Советская 63, стр. 4, e-mail: vvprof@rtural.ru)

Ovsyannikov Victor Evgenyevich is Candidate of Technical Sciences, the associate professor "Innovatics and quality management" Kurgan state university (640020, Kurgan, Sovetskaya St. 63, p. 4, e-mail: vik9800@mail.ru)

Vasilyev Valery Ivanovich is Doctor of Engineering, professor of "Motor Transport and Car Service" department Kurgan state university (640020, Kurgan, Sovetskaya St. 63, p. 4, e-mail: vvprof@rtural.ru)

=====

УДК 629.3.018.2

МОДЕРНИЗАЦИЯ СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САЙЛЕНТБЛОКОВ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЕЙ

Д.А. Тихов-Тинников¹, В.С. Барадиев¹, А. В. Быков¹, В.Г. Власов²

¹Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления «ВСГУТУ», Россия, г. Улан-Удэ

²Иркутский национальный исследовательский технический университет «ИрННТУ», Россия, г. Иркутск

Аннотация. В статье рассматривается модернизация стенда для получения стабильного управляющего воздействия на исследуемый сайлентблок подвески автомобиля. В работе описаны порядок испытания сайлентблока на стенде, представлены мероприятия по доработке экспериментального оборудования. Приведены характеристики управляющего воздействия на сайлентблок, полученные при помощи модернизированного стенда, на режимах 0,17 и 1,33 Гц. Выполненные работы и полученные результаты позволяют сделать вывод о пригодности модернизированного стенда для проведения исследований сайлентблоков в целях разработки высокоэффективного и информативного метода их диагностирования.

Ключевые слова: подвеска, сайлентблок, резинометаллический шарнир, экспериментальное оборудование, модернизация, диагностика.

ВЕДЕНИЕ

Исследование эксплуатационных изменений характеристик автомобильных сайлентблоков в настоящее время является актуальной научной задачей [1] для решения которой требуется специальное исследовательское оборудование. В связи с этим на кафедре «Автомобили» ВСГУТУ разработан стенд (рис. 1), позволяющий получать силовые характеристики сайлентблоков, как в статическом, так и в динамическом режимах [2].

Порядок проведения испытаний на стенде следующий. Испытуемый сайлентблок 9 запрессовывается в рычаг 8 и закрепляется на раме стенда. Другой конец рычага соединяется с ползуном кривошипно-шатунного механизма 5-7, вращение которого осуществляется от элементов привода 1-4. Перемещение ползуна вызывает качание рычага, что приводит к закручиванию сайлентблока. Усилие от закручивания измеряется на конце рычага при помощи датчика силы 10, передающего сигнал через усилитель 11, аналого-цифровой преобразователь 12 в электронно-вычислительную машину 13. При испытаниях также измеряется вертикальное перемещение конца рычага при помощи датчика 14. Элементы привода: частотный преобразователь 1, электродвигатель 2, цепной вариатор 3 и редуктор 4 позволяют изменять частоту колебаний рычага стенда в диапазоне от 0 до 1,16 Гц.

Проведение испытаний сайлентблоков с использованием стенда выявили существенный недостаток его конструкции, проявляющийся

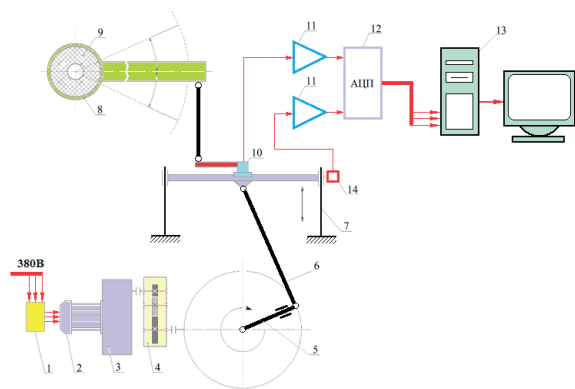


Рисунок 1 – Структурная схема стенда для исследования силовых характеристик сайлентблоков.

- 1 – частотный преобразователь,
- 2 – электродвигатель, 3 – вариатор,
- 4 – редуктор, 5 – кривошип, 6 – шатун,
- 7 – направляющее устройство, 8 – рычаг подвески, 9 – испытуемый сайлентблок,
- 10 – датчик силы, 11 – усилитель, 12 – аналого-цифровой преобразователь, 13 – компьютер,
- 14 – датчик перемещения

в невозможности обеспечить одинаковый характер перемещения рычага на различных режимах. При испытаниях на малых частотах наблюдались значительные искажения характеристики перемещения рычага стенда при прохождении верхней и нижней мертвых точек. На повышенных частотах такой аномалии не наблюдалось. На рис. 2 представлены нормированные по времени сигналы датчика перемещения рычага стенда при испытаниях одного и того же сайлентблока с частотой 0,17 Гц и 1,33 Гц, иллюстрирующие проявление описанной проблемы. Данные графики характеризуют входное управляющее воздействие на сайлентблок и в идеальном случае они должны совпадать или быть очень схожи друг с другом. Различие характера управляющих воздействий делает невозможным выполнение анализа полученных силовых характеристик сайлентблоков в целях решения поставленной научной задачи. Причиной возникновения, описанной ситуации является малая мощность привода стенда, соизмеримая с мощностью нагрузки (сайлентблока). В связи изложенным конструкция стенда была модернизирована.

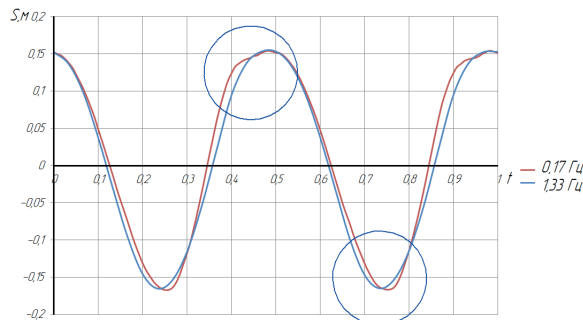


Рисунок 2 – Искаженный сигнал перемещения

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для обеспечения стабильного характера управляющих воздействий стенд был доработан следующим образом (рис. 3). Электродвигатель стенда 2 мощностью 4,5 кВт был заменен на более мощный двигатель 11 кВт. В состав стенда дополнительно включен маховик 6 для аккумуляции и отдачи кинетической энергии при изменении нагрузки на привод стенда со стороны сайлентблока и кривошипно-шатунного механизма. Из соображений безопасности в качестве маховика использован неисправный электродвигатель, ротор которого имеет момент инерции примерно равный 0,35 кг·м². Аккумулятор кинетической

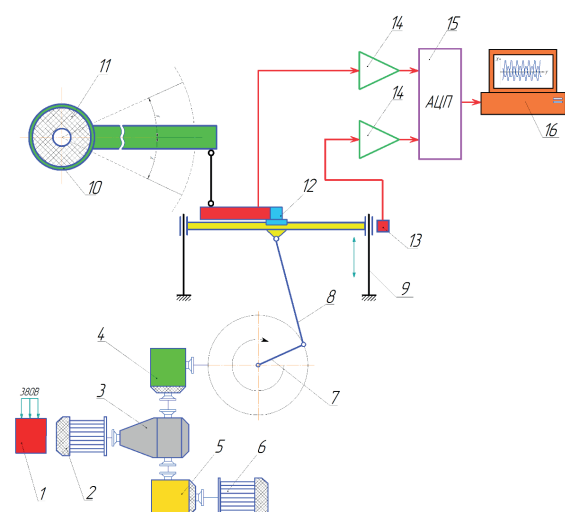


Рисунок 3 – Структурная схема модернизированного стенда.
1 – частотный преобразователь, 2 – электродвигатель, 3 – редуктор, 4 – коробка перемены передач ВА3-2109, 5 – мультипликатор, 6 – маховик, 7 – кривошип, 8 – шатун, 9 – направляющее устройство, 10 – рычаг подвески, 11 – испытуемый сайлентблок, 12 – датчик силы, 13 – датчик перемещения компьютер, 14 – усилитель, 15 – аналого-цифровой преобразователь, 16 – компьютер

энергии включен в схему стенда параллельно и приводится во вращение от мультипликатора 5, выполненного на основе коробки перемены передач ВА3-2109. Вращение мультипликатора осуществляется со стороны заблокированного дифференциала. Возможность изменять передаточное число мультипликатора позволяет поддерживать обороты маховика в режиме безопасного функционирования, не превышающего 2200 об/мин, не зависимо от скорости вращения вала электродвигателя стенда.

Привод кривошипно-шатунного механизма 7, 8 стенда осуществляется через отдельную коробку перемены передач 4 ВА3-2109, включенную в стенд по обычной схеме. Наличие коробки передач и частотного преобразователя 1 позволяют изменять обороты кривошипа стенда в диапазоне от 0,54 до 218 об/мин. Вращение входных валов мультипликатора и коробки перемены передач кривошипно-шатунного механизма осуществляется от редуктора 3 заднего моста Toyota Mark II с заблокированным дифференциалом. Последний приводится во вращение от электродвигателя стенда, частота вращения которого регулируется частотным преобразователем.

В состав модернизированного стенда также входят: направляющее устройство 9, рычаг подвески 10, испытуемый сайлентблок 11, датчик силы 12, датчик перемещения 13, усилитель 14, аналого-цифровой преобразователь 15 и компьютер 16.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выполненная модернизация стенда позволила обеспечить стабильность управляющего воздействия на всех режимах испытания сайлентблоков. На рис. 4 представлены нормированные характеристики перемещения рычага, полученные после модернизации стенда. Графики показывают, что после внесенных изменений стенд позволяет задавать практически идентичное тестовое воздействие на сайлентблок на различных режимах испытаний.

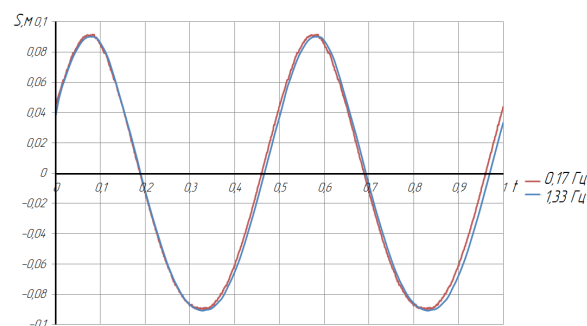


Рисунок 4 – Сигнал перемещения, полученный после модернизации стенда

Стабильность и одинаковый характер управляющих воздействий позволяют исключить из дальнейших исследований аргумент времени и проводить анализ функционирования сайлентблока по его силовым характеристикам (рис. 5).

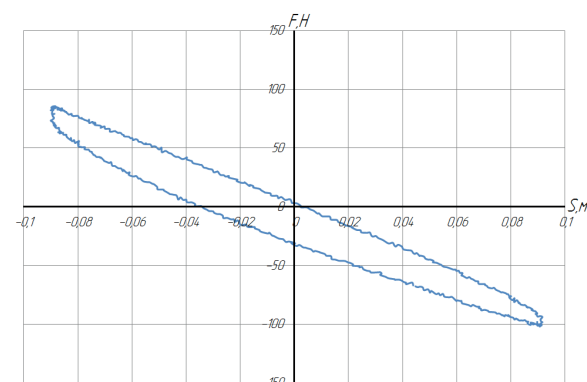


Рисунок 5 – Силовая характеристика сайлентблока

В данном случае силовой будет являться фазовая динамическая характеристика [3], представляющая зависимость усилия, развиваемого сайлентблоком, от величины его деформации. Фазовые динамические характеристики по сравнению с временными характеристиками обладают более высокой чувствительностью к изменению параметров технического состояния объектов [4,5,6], что в свою очередь создает предпосылки для разработки высокоэффективного и информативного метода диагностирования сайлентблоков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К вопросу об определении технического состояния сайлентблоков в процессе эксплуатации автотранспортных средств / Д.А. Тихов-Тинников, В.С. Барадиев // Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера: Конструкция, эксплуатация, экономика 90-я Международная научно-техническая конференция Ассоциации автомобильных инженеров / ИРНИТУ. – Иркутск, 2015. – С. 352-355.

2. Федотов А.И. Оборудование для экспериментального определения силовых характеристик автомобильных сайлентблоков / А.И. Федотов, Д.А. Тихов-Тинников, В.С. Барадиев // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 8 (115). С. 176-181.

3. Федотов А.И. Диагностика пневматического тормозного привода автомобилей на основе компьютерных технологий: Дис. доктора техн. наук: 05.20.03: защищена 17.03.1999: утв. 01.10.1999 / А.И. Федотов; науч. консультант И.П. Терских; ИргСХА. – Иркутск, 1999. – 506 с.

4. Федотов А.И. Технология и организация диагностики при сервисном сопровождении / А.И. Федотов; М.: Академия, 2015. 352 с.

5. Федотов А.И. Диагностика автомобиля: учебник для вузов / А.И. Федотов; ИргТУ. – Иркутск: ИргТУ, 2012. – 468 с.

6. Сергеев А.Г. Точность и достоверность диагностики автомобилей / А.Г. Сергеев; М.: Транспорт, 1980. – 188 с.

MODERNIZATION OF THE STAND FOR DETERMINING THE FORCE CHARACTERISTICS OF THE SUSPENSION BUSHES SUSPENSION VEHICLES

D.A. Tihov-Tinnikov, V.S. Baradiev, A.V. Bykov, V.G. Vlasov

Abstract. The article discusses the modernization of stand to obtain a stable control action on the test cushion, the car's suspension. The paper describes the procedure of testing bushings on the stand presented events for improvement of experimental equipment. The characteristics of the control action on the bushing, obtained with the upgraded stand, modes of 0.17 and 1.33 Hz. The performed work and the obtained results allow to conclude about the suitability of the upgraded stand for research of silent blocks in order to develop highly effective and informative method of diagnosis.

Keywords: suspension bushing, rubber joint, experimental equipment, modernization, diagnostics.

REFERENCES

1. Tihov-Tinnikov D.A., Baradiev V.S. K voprosu ob opredelenii tekhnicheskogo sostoyaniya sajlentblokov v processe ehkspluatatsii avtotransportnyh sredstv [The issue of determining the technical state of the bushing in the process of operation of motor vehicles], Avtomobil' dlya Sibiri i Krajnego Severa: Konstrukciya, ehkspluatatsiya, ehkonomika 90-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya Assotsiatsii avtomobil'nyh inzhenerov [Car for Siberia and the far North: the Design, operation, economy, 90th international scientific and technical conference of

the Association of automotive engineers]. Irkutsk, 2015, pp. 352-355.

2. Fedotov A.I., Tihov-Tinnikov D.A., Baradiev V.S. Oborudovanie dlya ehksperimental'nogo opredeleniya silovyh harakteristik avtomobil'nyh sajlentblokov [Equipment for experimental determination of the force characteristics of automotive suspension bushes], Vestnik Irgtu, 2016, no 8 (115), pp. 176-181.

3. Fedotov A.I. Diagnostika pnevmaticheskogo tormoznogo privoda avtomobilej na osnove komp'yuternyh tekhnologij [Diagnostics of pneumatic brake drive of vehicles on the basis

РАЗДЕЛ III.

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 624.046

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ ТИПА «МОЛОДЕЧНО»

Ю.С. Белова, Л.И. Жукова, Д.А. Кузьмин, Е.В. Тишков
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В статье установлена зависимость влияния степени развития поверхностной коррозии на несущую способность наиболее нагруженных стержней металлической стропильной фермы, выполненной из профилей типа «Молодечно». В результате проведенного исследования построены графики зависимости прочности, гибкости и местной устойчивости стенки от степени коррозионного разрушения поясов фермы поверхностной коррозией. Сделан вывод об интенсивности исчерпания несущей способности элементов фермы в зависимости от скорости распространения коррозионных процессов.

Ключевые слова: несущая способность, коррозионное разрушение, стропильная ферма, местная устойчивость, замкнутые профили.

ВВЕДЕНИЕ

Россия в 90-е годы переживала определенные политические и экономические события, которые оказали негативное влияние, в том числе на сферу строительства. Помимо того, что перестали строиться новые здания, многие уже построенные объекты, особенно производственного назначения, перестали эксплуатироваться. Длительные перерывы и неправильная эксплуатация привели к развитию деструктивных процессов в несущих конструкциях зданий и сооружений, в том числе к их коррозии. Достигая определенных значений, степень коррозии может существенно снижать несущую способность конструкций, что требует ее учета при проведении расчетов.

При проектировании и эксплуатации многих несущих строительных конструкций промышленных объектов предъявляются повышенные требования по надежности и долговечности. Это делает актуальным значительное количество научных исследований, посвященных расчету ферм, подверженных коррозионному износу – наиболее распространенному проявлению агрессивной среды.

Целью работы является оценка влияния поверхностной коррозии фермы из профильных

труб на несущую способность конструкции, а также прогнозирование долговечности фермы с учетом развития коррозионных повреждений ее элементов.

АНАЛИЗ СИТУАЦИИ

Согласно международному стандарту [1], под коррозией понимают физико-химическое или химическое взаимодействие между металлом (сплавом) и средой, приводящее к ухудшению функциональных свойств металла (сплава), среды или включающей их технической системы.

Результаты некоторых исследований показали, что сечения, выполненные из гнuto-сварных профилей (ГСП), менее подвержены коррозии, и скорость коррозионного процесса в них протекает медленнее [2]. Ярким примером ферм из ГСП профилей являются фермы типа «Молодечно», разработанные в 70-80-е годы в составе системы быстровозводимых зданий, названных по одноименному населенному пункту в республике Беларусь, где начал функционировать первый завод-изготовитель таких конструкций. Система предусматривала возможность демонтажа и переноса конструкций на новое место. Основными преимуще-

ствами ферм из профилей типа «Молодечно» являются:

- простота в изготовлении, удобство в покраске;
 - низкая металлоемкость вследствие сопряжения элементов конструкций без применения дополнительных фасонных деталей и меньшего количества сварных швов;
 - обтекаемая форма сечения профилей исключает наличие впадин и щелей в ферме, уменьшается возможность коррозионного влияния внешней среды;
 - наличие беспроемного решения приводит к минимальному количеству монтажных единиц и понижению трудоемкости монтажа;
 - эстетическое превосходство в сравнении с распространенными фермами из парных уголков.
- Недостатки ферм типа «Молодечно»:
- необходимость глушить и герметизировать стержни фермы;
 - высокая стоимость профильных труб.

Несмотря на данные недостатки, фермы из профилей типа «Молодечно» нашли широкое распространение в России, в том числе и городе Омске. При этом чаще использовались не ГСП трубы, а профильные (прямоугольные) трубы.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является стропильная ферма покрытия производственного здания в городе Омске. По объемно-планировочному решению здание имеет квадратную форму в плане с габаритными размерами по осям 72х72 м. Пространственная система здания представляет собой связевый стальной каркас, образованный двутавровыми прокатными колоннами сечением 50Ш1, подстропильными и стропильными фермами пролетом 12 и 24 м соответственно. Покрытие выполнено беспроемным, с укладкой профилированного листа непосредственно на верхние пояса стропильных ферм. Настил из профлиста развязывает верхние пояса из плоскости и играет роль горизонтальных связей, обеспечивая пространственную жесткость каркаса.

Стропильные фермы разработаны по типу серии 1.460-3-14/90. Пролет фермы 24 м, высота 1,8 м. Высота до низа стропильных ферм составляет 11 м. Шаг ферм 4 м. Масса фермы составляет 1408 кг. Сечения стержней фермы выполнены в виде прямоугольных и квадратных труб. Внешний вид фермы представлен на рис. 1а, 1б.

а)



б)



Рисунок 1 – Стропильная ферма из профильных труб: а – общий вид на ферму; б – коррозионные повреждения элементов фермы

Здание 1991 года постройки. С момента завершения строительства и до настоящего времени здание практически не эксплуатировалось. Требуемых мероприятий по консервации здания на период длительного простоя не производилось. Естественные процессы старения привели к полной потере герметичности кровли, что повлекло за собой образование повсеместных протечек поверхностных вод через кровлю внутрь здания. Все вышеперечисленные факторы способствовали развитию коррозионных процессов в стальных элементах ферм. В настоящее время авторами статьи проведены в соответствии с нормами инструментально-технические обследования несущих конструкций здания на предмет возможности дальнейшей безаварийной эксплуатации конструкций, особое внимание уделено работе элементов стропильных ферм с коррозией. [3]

Номинальные размеры сечений (без учета коррозии) определены на основании натурных замеров и представлены на рисунке 2. Раскосная решетка фермы треугольная. Раскосы не оснащены фасонками и примыкают непосред-

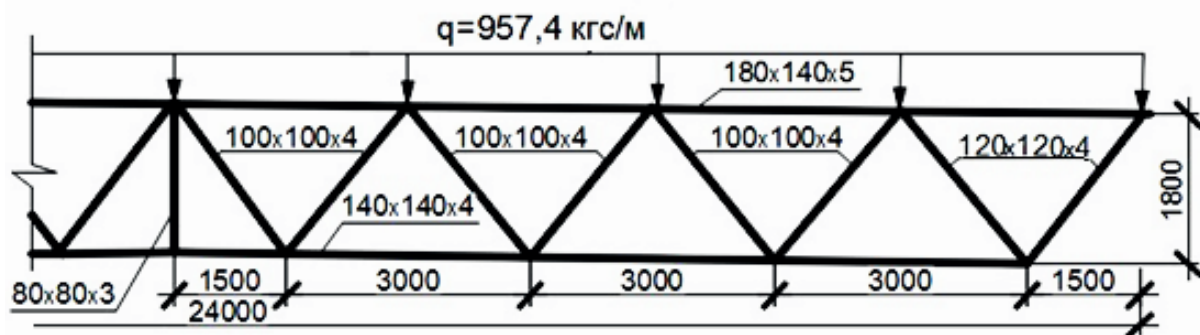


Рисунок 2 – Геометрическая схема и загрузка полуфермы

ственно к поясам. Фермы имеют монтажные стыки в середине пролета – фланцевое соединение на высокопрочных болтах.

Фермы шарнирно опираются на подстропильные конструкции в уровне верхних поясов.

Полная расчетная нагрузка на ферму определена с учетом фактической массы кровли согласно [4] и составляет 957.4 кг/м.

Выявлено наличие поверхностной коррозии элементов ферм. На момент обследования величина коррозии, определенная инструментальными измерениями, составляла до 0,5 мм.

Для оценки влияния коррозионных повреждений элементов фермы на ее несущую способность выполнен ряд инженерных расчетов. Статический расчет фермы проведен в программном комплексе «Лира» методом конечных элементов. Конструктивный расчет произведен на основании действующих норм [5-6].

Предпосылки расчетов:

- жесткости и нагрузка от собственного веса стержней фермы приняты по номинальным размерам без учета коррозии;
- сопряжения стержней в узлах приняты жесткими;
- нагрузка приложена к верхнему поясу фермы линейно распределенной;
- совместная работа фермы и настила не учтена;
- поверхностная коррозия распределена по всему внешнему периметру сечения элементов фермы;
- степень коррозионных повреждений варьировалась в пределах 0...40% относительно номинальной толщины сечения;
- ослабление сечения крепежными элементами настила не учтено;
- влияние коррозии на стыки и сварные

швы не анализировалось;

- рассмотрена только I группа предельных состояний.

Исчерпание несущей способности фермы наступает одновременно с исчерпанием несущей способности ее наиболее нагруженного элемента.

Для анализа выбраны наиболее нагруженные элементы, работающие на внецентренное сжатие и растяжение. Усилия в наиболее нагруженном внецентренно сжатом элементе (верхний пояс) составляют: $N = -37.4$ тс, $M = 0.615$ тс·м, $Q = 1.43$ тс; в наиболее нагруженном внецентренно-растянутом (нижний пояс): $N = 38.5$ тс, $M = 0.230$ тс·м; $Q = 0.12$ тс.

В расчетах проанализировано влияние коррозии сечения на прочность элементов, местную устойчивость их стенки, а также гибкость нижнего пояса. Поскольку верхний пояс фермы раскреплен по всей длине диском перекрытия, общая устойчивость и гибкость верхнего пояса не рассматривались. Результаты расчетов приведены на рисунках 3-5. При расчете прочности верхнего пояса рассмотрено два типа сечения: полное и редуцированное.

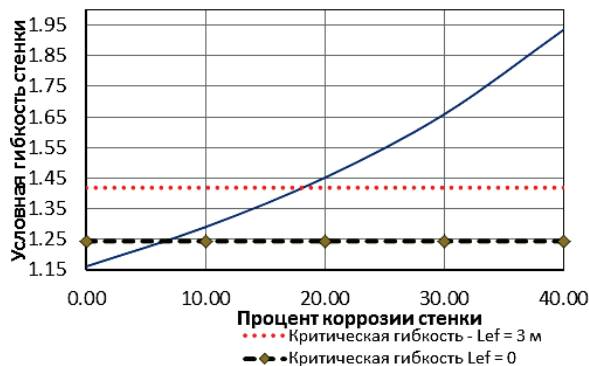


Рисунок 3 – Влияние коррозионных повреждений на условную гибкость стенки верхнего пояса

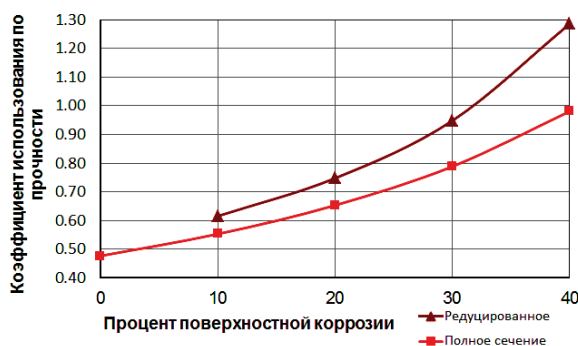


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента использования по прочности верхнего пояса от степени коррозионных повреждений



Рисунок 5 – Зависимость коэффициента использования по прочности нижнего пояса от степени коррозионных повреждений

Определение несущей способности элементов ферм с учетом поверхностной коррозии – один из важнейших аспектов поверочных расчетов стальных конструкций при обследовании зданий и сооружений. Один из наиболее трудоемких этапов расчета – определение геометрических характеристик сечений с учетом коррозии. Практика показывает, что упрощенное рассмотрение трубчатых ГСМ профилей как прямоугольников (без учета скруглений углов) приводит к большим погрешностям и неадекватным результатам, когда корродированное сечение имеет более высокие характеристики, нежели первоначальные, принятые по ГОСТ 30245.

Предложена упрощенная инженерная методика для определения геометрических характеристик ГСМ профилей при поверхностной коррозии всего периметра.

$$J_{xk} = J_{xo} \cdot (\alpha_k - \Delta); \quad (1)$$

где

$$\alpha_k = \frac{A_k}{A_0}. \quad (2)$$

J_{xk}, J_{xo} , см⁴ – моменты инерции сечения по сортаменту и корродированного сечения;
 A_0, A_k , см² – площади сечения по сортаменту и корродированного сечения.

При этом зависит от степени коррозии:

При коррозии:

- до 0.1 мм $\Delta = 0$;
- до 0.5 мм $\Delta = 0.01$;
- до 1 мм $\Delta = 0.02$;
- более 1 мм $\Delta = 0.03$.

Таким образом, задача сводится к определению площади сечения, ослабленного коррозией, что более простой способ, нежели вычисление непосредственно моментов инерции.

Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Несущая способность не корродированной фермы на восприятие действующих нагрузок обеспечена. Наиболее нагружен нижний пояс фермы, запас составляет 20%.

2. Текущая на момент обследования степень коррозии элементов достигает 0.5 мм, что соответствует 10% для верхнего пояса и 12% для нижнего пояса. Согласно графикам несущая способность фермы находится на пределе, и запас составляет всего около 1% по прочности нижнего пояса.

3. При достижении 5-7% коррозии верхнего пояса фермы достигается критическая гибкость стенки профильной трубы, возникает опасность потери местной устойчивости стенки, и требуется оценка прочности ослабленного (редуцированного) сечения пояса. При возрастании свободной длины пояса критическая гибкость возрастает – допускается до 18% коррозионных повреждений при свободной длине 3 м. Однако вместе с тем возникает необходимость в проверке общей устойчивости пояса.

4. Разница в несущей способности не корродированного и редуцированного сечений (сечения за вычетом участка стенки, потерявшего местную устойчивость) составляет 10% при коррозионных повреждениях до 20% толщины профиля. При дальнейшем развитии коррозии разница нелинейно возрастает.

5. Поверхностная коррозия не оказывает существенного влияния на гибкость элементов фермы (гибкость возрастает на 2-3%).

В соответствии с [7] и [8] скорость распространения коррозии зависит от степени агрес-

сивности сред и группы стойкости металлов. Ориентируясь на эти документы, возможно спрогнозировать предположительный срок исчерпания несущей способности фермы при дальнейшем развитии коррозионных повреждений.

Для производственного помещения, в котором располагается рассмотренная ферма, нормативная скорость поверхностной коррозии составляет 0,1 мм/год. Тогда текущий уровень коррозии (0,5 мм) достигается в среднем за 5 лет ненадлежащей эксплуатации. Предельный уровень коррозии для нижнего пояса составляет 0,55 мм и может наступить менее чем через полгода, если не принять соответствующих мер по обеспечению сохранности и восстановлению конструкций от коррозии.

Существует еще один менее явный, но весьма опасный фактор риска. В данном случае речь идет о настиле покрытия из профилированного листа, раскрепляющего верхние пояса ферм. Поскольку стыки профилированного листа по длине устроены непосредственно на опорах, т.е. на верхних поясах ферм, это создает предпосылки для очаговой коррозии профилированных листов в зоне расположения закрепляющих саморезов. Расстройство узлов крепления профлиста к ферме делает ее работу неопределенной, создается опасность потери устойчивости из-за потери конструктивной связи между фермами и настилом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования установлена зависимость влияния степени развития поверхностной коррозии на несущую способность наиболее нагруженных стержней металлической стропильной фермы, выполненной из профилей типа «Молодечно». В результате проведенного анализа на примере рассмотренной фермы построены графики влияния степени коррозионного разрушения поясов на прочность, гибкость и местную устойчивость стенки.

Исследование показало, что поверхностная коррозия 0,5 мм (10-12%) снижает несущую способность рассмотренной фермы приблизительно на 20%, что, безусловно, существенно и должно учитываться при проведении проверочных расчетов, в том числе

аналогичных ферм. Выявлено, что уже через полгода при дальнейшей скорости нарастания коррозионных повреждений степень коррозии может достичь критической величины.

Предложена инженерная методика по определению геометрических характеристик профильных труб с учетом поверхностной коррозии.

В ходе дальнейших исследований планируется аналогичным образом рассмотреть фермы из замкнутых профилей с иными геометрическими параметрами с целью выявления общих зависимостей и составления обобщенных номограмм допустимых коррозионных повреждений применительно к наиболее распространенным профилям сортамента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стандарт ISO 8044:2015. Corrosion of metals and alloys. Basic terms and definitions. Коррозия металлов и сплавов. Общие термины и определения. // 25.08.2015 – Р. 86.
2. Рыбакова Л.Ю. Влияние конструктивной формы на скорость распространения коррозии/ Рыбакова Л.Ю. // Приволжский научный вестник № 8 (36), часть 1. – Самара, 2014. – С.42-44.
3. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – Введ. 2012-04-12. – М. : ГУП МНИИМНИИТЭП, 2011. – 89с.
4. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М., 2011. – 80 с.
5. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81* (с Изменением N 1). – М.: ФГУП ЦПП, 2010. – 172 с.
6. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции»)/ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с.
7. СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 (с Изменением N 1). – Минрегион России, М., 2012. – 94 с.
8. ГОСТ 13819-68. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы и сплавы. Десятибальная шкала коррозионной стойкости (с Изменением N 1). – М., 1968. – 55 с.

Yu. S. Belova, L. S. Zhukova, D. A. Kuzmin, E. V. Tishkov

Annotation. In the article the influence of the dependence of the degree of surface corrosion on the bearing capacity of the most loaded rods metal truss made of profiles such as “Molodechno”. The study plotted strength, flexibility-sti and local stability of the wall on the degree of corrosion damage in truss belts surfactant corrosion. It is concluded that the intensity of the exhaustion of the bearing capacity of the elements of the truss, depending on the speed of propagation of corrosion processes.

Keywords: bearing capacity, corrosion destruction, truss, local resistance, closed profiles.

REFERENCES

1. Standard ISO 8044: 2015. Corrosion of metals and alloys. Basic terms and definitions. Corrosion of metals and alloys. General terms and definitions. // 25.08.2015 – P. 86.
2. Rybakova LY Influence of structural forms in the speed of propagation of corrosion / Rybakova LY Volga // Scientific Bulletin number 8 (36), part 1. – Samara, 2014. – S.42-44.
3. GOST 31937-2011. Buildings and constructions. Terms of survey and monitoring technical condition. – Enter. 2012-04-12. – Moscow: GUP MNIIMNITEP, 2011. – 89c.
4. SP 20.13330.2011 Loads and effects. The updated edition of SNiP 2.01.07-85 *. – M., 2011. – 80 p.
5. SP 16.13330.2011 Steel structures. The updated edition of SNiP II-23-81 * (with the change in N 1). – M.: FSUE LAC, 2010. – 172 p.
6. Posobie the design of steel structures (to the SNiP II-23-81 * "Steel design ") / CNIISK Kucherenko USSR State Committee – . M.: TSITP Gosstroy of the USSR, 1989. – 148 p.
7. SP 28.13330.2012 protection of building structures against corrosion. The updated edition of SNiP 2.03.11-85 (with Amendment N 1). – Ministry of Regional Development of Russia, Moscow, 2012. – 94 p.
8. GOST 13819-68 Unified system of corrosion and aging (ESZKS). Metals and alloys. Ten-point scale corrosion resistance (with Amendment N 1). – M., 1968. – 55 p.

Белова Юлия Сергеевна (Омск, Россия) – студент ПГСБ-13П2 ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644080, г.Омск, пр. Мира, 5, e-mail: julyabelowa@mail.ru).

Жукова Людмила Игоревна (Омск, Россия)
– студент ПГСб-13П1 ФГБОУ ВО Сибирская
государственная автомобильно-дорожная
академия (644080, г.Омск, пр. Мира, 5, e-mail:
lydik2009.95@mail.ru).

Кузьмин Дмитрий Андреевич (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры Строительные конструкции ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644080, г.Омск, пр. Мухоморова, 5, e-mail: dimitri.kuzmin@mail.ru).

Тишков Евгений Владимирович (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры Недвижимость и строительный бизнес ФГБОУ ВО Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (644080, г.Омск, пр. Мира, 5, e-mail: evgen2713@mail.ru).

Yulia Belova Sergeyevna (Omsk, Russian Federation) – student PG Sb-13P2 Siberian state automobile and highway academy (644080, Omsk, Mira av., 5, e-mail: julyabelowa@mail.ru).

Zhukova Lyudmila Igorevna (Omsk, Russian Federation) – student PGSb-13P1 Siberian state automobile and highway academy (644080, Omsk, Mira av., 5, e-mail: lydik2009.95@mail.ru).

Kuzmin Dmitriy Andreevich (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical Sciences, Associate Professor of Building construction Siberian state automobile and highway academy (644080, Omsk, Mira av., 5, e-mail: dimitri_kuzmin@mail.ru).

Tishkov Evgeni Vladimirovich (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical Sciences, Associate Professor of real estate and construction business Siberian state automobile and highway academy (644080, Omsk, Mira av., 5. e-mail: evgen2713@mail.ru).

УДК 625.855.32

ПОДБОР СОСТАВОВ АКТИВИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В.Д. Галдина, М.С. Черногородова

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Россия, г. Омск

Аннотация. В статье рассматривается использование метода математического планирования эксперимента подобраны составы и получены математические модели свойств активированных минеральных порошков на основе золы-уноса в зависимости от расхода активизирующих добавок. Оптимальные составы и свойства активированных минеральных порошков на основе золы-уноса, соответствующие требованиям ГОСТ 32761-2014 к активированным минеральным порошкам марки МП-1, установлены с помощью пакета программ Maple. Математическое планирование эксперимента позволило значительно сократить процесс подбора и оптимизировать составы активированных минеральных порошков с заданным комплексом свойств.

Ключевые слова: активированный минеральный порошок, активизирующая минеральная добавка, битум нефтяной, зола-унос, математические модели, поверхностно-активное вещество.

ВВЕДЕНИЕ

Минеральный порошок в составе асфальтобетона выполняет две функции: 1) образует совместно с битумом асфальтовое вяжущее вещество, которое омоноличивает и склеивает зерна крупного и мелкого заполнителей, а также заполняет межзерновое пространство каркаса, образованного крупным и мелким заполнителем; 2) заполняет мелкие поры между более крупными частицами щебня и песка. Поэтому присутствие необходимого количества минерального порошка способствует повышению плотности минерального остова и повышению плотности, прочности и водостойкости асфальтобетона [1].

Требования к свойствам минеральных порошков, качеству сырья для их получения и область применения приведены в ГОСТ 32761-2014 [2]. В связи с дефицитом местного карбонатного сырья во многих регионах России для получения минерального порошка используют кремнеземистые (кислые) минеральные материалы, а также техногенные продукты, удовлетворяющие по составу, дисперсности и другим физико-механическим характеристикам требованиям к минеральным порошкам марки МП-3 [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]. Такие минеральные порошки рекомендуется применять только для асфальтобетонных смесей II, III марок и органоминеральных смесей [2]. В качестве минерального порошка в асфальтобетонных смесях используют золы-уноса и зо-

лошлаковые смеси тепловых электростанций (ТЭС) [3, 4, 5, 7, 11]. Зола-унос представляет собой тонкодисперсный материал с размером зерен менее 0,315 мм, образующийся из минеральной части твердого топлива, сжигаемого в пылевидном состоянии и улавливаемый золоулавливающими устройствами из дымовых газов ТЭС. Золоуноса и золошлаковые смеси рекомендуется использовать также при строительстве земляного полотна и укрепленных оснований [3, 4, 12, 13].

Исследование химического состава и свойств золы-уноса с электрофильтров ТЭС-4 г. Омска показало, что зола является сверхкислым материалом, по степени дисперсности соответствует требованиям ГОСТ 32761-2014 к минеральным порошкам, однако имеет высокие показатели пористости, битумоемкости и набухания вследствие особенностей микроструктуры и микрорельефа поверхности. При объединении кислой золы-уноса с битумом на границе раздела фаз «зола-битум» протекают процессы физической адсорбции. Поэтому прочность сцепления битума с поверхностью зерен золы пониженная. Асфальтобетон, приготовленный с минеральным порошком из золы-уноса, имеет низкие показатели прочности, теплоустойчивости и водостойкости [11]. Улучшение структурно-механических свойств асфальтобетона может быть достигнуто в результате физико-химической активации минерального порошка путем совмещения физико-химической обработки с механическими

воздействиями. Такие условия создаются при обработке минерального порошка в процессе помола активирующими минеральными или органическими веществами [1]. Оптимальные расходы активирующих добавок устанавливаются в результате постановки пассивного эксперимента, который не всегда дает возможность оптимизации составов из-за наличия эффектов взаимодействия компонентов. Значительно сократить процесс подбора и оптимизировать составы активированных минеральных порошков позволяют методы математического планирования эксперимента [14, 15].

Подбор составов активированных минеральных порошков на основе золы-уноса

Цель работы: с использованием метода математического планирования эксперимента получить математические модели свойств активированных минеральных порошков на основе золы-уноса от расхода активирующих добавок, установить оптимальные составы, при которых активированные минеральные порошки из сверхкислой золы-уноса по свойствам соответствуют требованиям ГОСТ 32761-2014 к активированным минеральным порошкам из карбонатных горных пород марки МП-1.

Активирующую обработку золы-уноса проводили при совместном помоле в лабораторной шаровой мельнице минеральных компонентов, предварительно нагретых и обработанных при температуре 140-150 °С активирующей органической добавкой. В экспериментальных исследованиях были использованы:

– зола-унос ТЭС-4 г. Омска, имеющая согласно ОДМ 218.2.031-2013 [4] следующую маркировку ЗУСух. КУ II-Б СГор.Вд – зола-унос сухого улавливания, каменноугольная, низкокальциевая, сверхкислая со средним содержанием горючих, высокодисперсная;

– активирующая минеральная добавка – асбест хризотилитовый марки А-7-300 по ГОСТ 12871-93*, представляет собой ультраосновный волокнистый материал, состоящий из гидросиликата магния $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;

– активирующая органическая добавка, состоящая из смеси битума с катионоактивным поверхностно-активным веществом (ПАВ). Для приготовления активирующей органической добавки использовали вязкий нефтяной дорожный битум марки БНД 60/90 по ГОСТ 22245-90* и адгезионную присадку к дорожным битумам БАП-ДС-3. Присадка БАП-ДС-3 является поверхностно-активным веществом катионного типа, состоит из смеси алкилами-

дополиаминов, алкилимидазолинполиаминов и жирных кислот, улучшает адгезионные свойства битумов при взаимодействии с кислотными и основными минеральными материалами. Присадка выпускается по ТУ 2482-005-33992933-2003 (СТО 33992933-002-2008) ЗАО НПО «Алтайспецпродукт» (г. Бийск Алтайского края) [16].

При получении активированных минеральных порошков количество золы-уноса принималось за 100%. Расходы асбеста, битума и ПАВ назначались сверх 100% от массы золы-уноса.

Подбор составов активированных минеральных порошков на основе золы-уноса проводился с применением метода математического планирования эксперимента. Значения основных независимых факторов на различных уровнях даны в табл. 1. За функции отклика были приняты показатели свойств минерального порошка по ГОСТ 32761-2014: пористость (П); показатель битумоемкости (ПБ); коэффициент водостойкости (КВ), набухание (Н). Испытания минеральных порошков проводили по стандартным методикам (ГОСТ 32764-2014, ГОСТ 32765-2014, ГОСТ 32766-2014, ГОСТ 32707-2014, ГОСТ 32719-2014). Все измерения и испытания проводились на трех параллельных образцах.

Матрица планирования симметричного композиционного трехуровневого плана второго порядка типа B_3 [17] и результаты экспериментов по определению свойств активированных минеральных порошков приведены в табл. 2. Статистическая обработка результатов эксперимента, определение коэффициентов уравнений регрессии, определение оптимальных составов и свойств, а также и построение графических зависимостей производились с помощью пакета прикладных программ Maple. Получены следующие уравнения регрессии в натуральных значениях факторов:

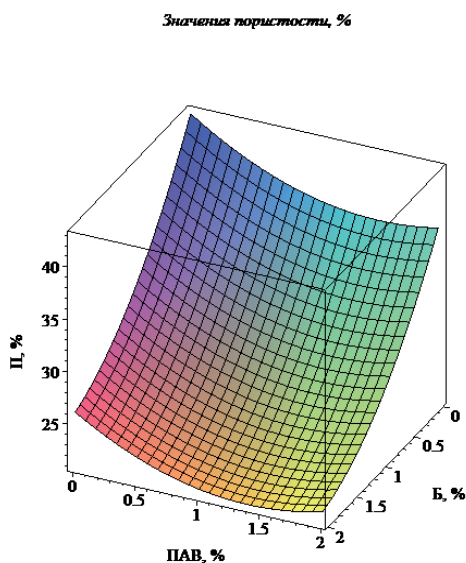
$$\begin{aligned} \text{П} = & 44,322 - 0,07425 \cdot \text{А} - 7,1912 \cdot \text{Б} - \\ & - 7,9725 \cdot \text{ПАВ} + 0,0175 \cdot \text{А} \cdot \text{Б} \cdot \text{ПАВ} - \\ & - 0,00648 \cdot \text{А}^2 + 0,7391 \cdot \text{Б}^2 + 2,6062 \cdot \text{ПАВ}^2; \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ПБ} = & 94,9 - 1,98252 \cdot \text{А} - 10,612 \cdot \text{Б} - \\ & - 20,225 \cdot \text{ПАВ} + 0,09375 \cdot \text{А} \cdot \text{Б} \cdot \text{ПАВ} + \\ & + 0,05875 \cdot \text{А}^2 + 0,96875 \cdot \text{Б}^2 + 4,875 \cdot \text{ПАВ}^2, \quad (2) \end{aligned}$$

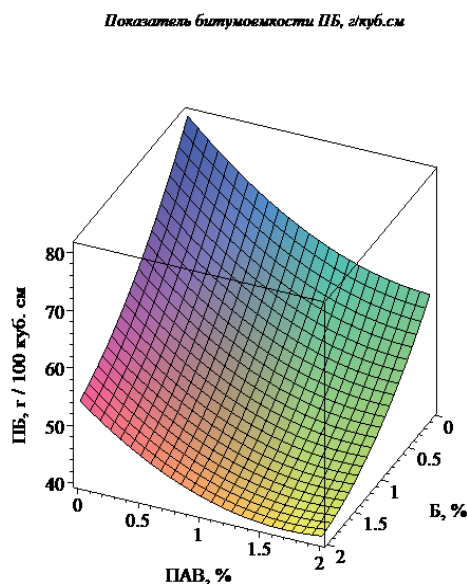
$$\begin{aligned} \text{КВ} = & 0,68725 + 0,01023 \cdot \text{А} + 0,04313 \cdot \text{Б} + \\ & + 0,0893 \cdot \text{ПАВ} + 0,000375 \cdot \text{А} \cdot \text{Б} \cdot \text{ПАВ} - \\ & - 0,000393 \cdot \text{А}^2 - 0,002344 \cdot \text{Б}^2 - \\ & - 0,024375 \cdot \text{ПАВ}^2; \quad (3) \end{aligned}$$

ПОДБОР СОСТАВОВ АКТИВИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ
МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

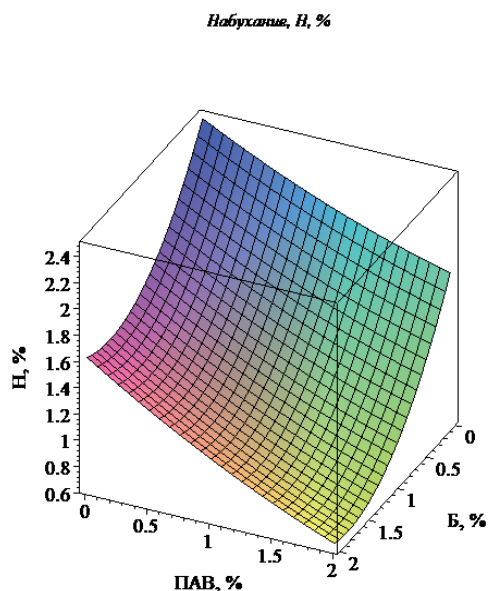
а)



б)



в)



г)

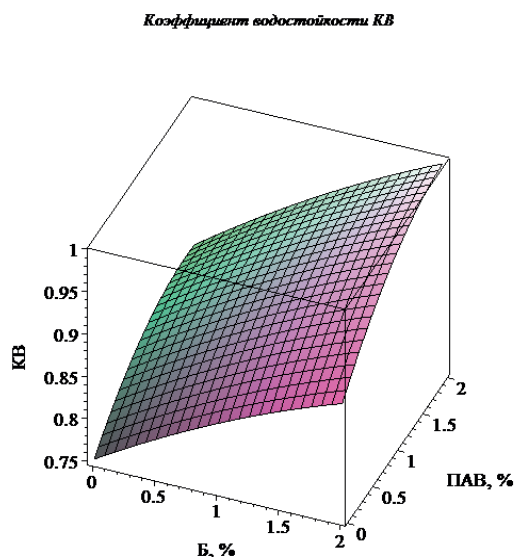


Рисунок 1 – Зависимость пористости (а), показателя битумоемкости (б), набухания (в) и коэффициента водостойкости (г) активированного минерального порошка от расхода при активации битума и ПАВ (пример при А = 10 %)

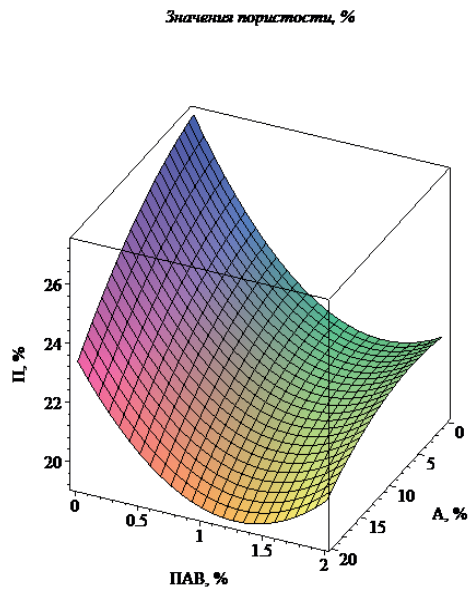
$$H = 2,7485 - 0,0362 \cdot A - 0,5685 \cdot B - 0,4911 \cdot \text{ПАВ} - 0,00303 \cdot A \cdot B \cdot \text{ПАВ} + 0,00089 \cdot A^2 + 0,0886 \cdot B^2 + 0,06437 \cdot \text{ПАВ}^2, \quad (4)$$

где П – пористость, % по объему; ПБ – показатель битумоемкости, г/100 см³; КВ – коэффициент водостойкости; Н – набухание, % по

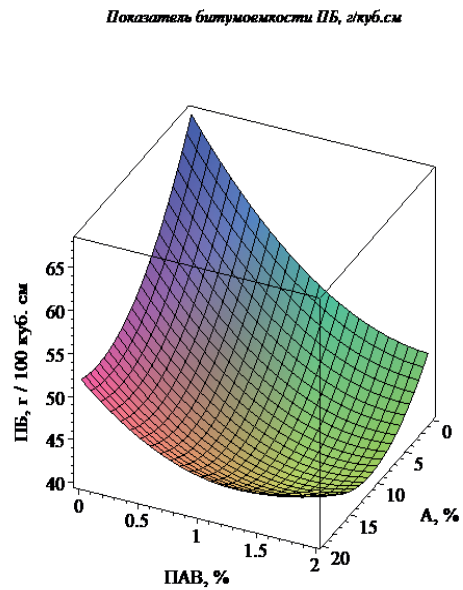
объему; А – асбест, % от массы золы-уноса; Б – битум, % от массы золы-уноса; ПАВ – поверхностно-активное вещество, % от массы золы-уноса.

Анализ полученных адекватных моделей показывает, что на изменение показателей

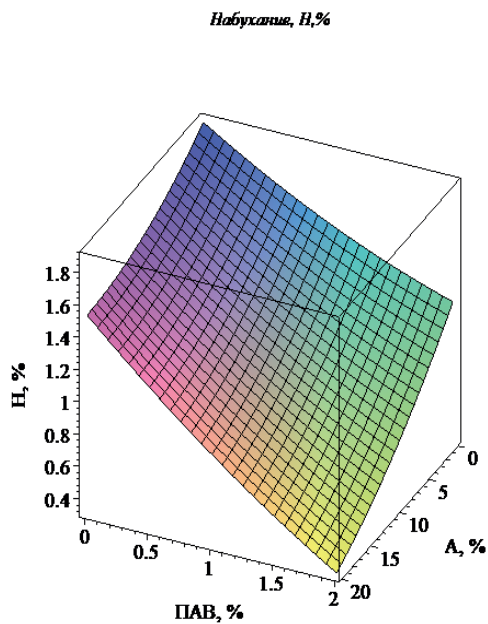
а)



б)



в)



г)

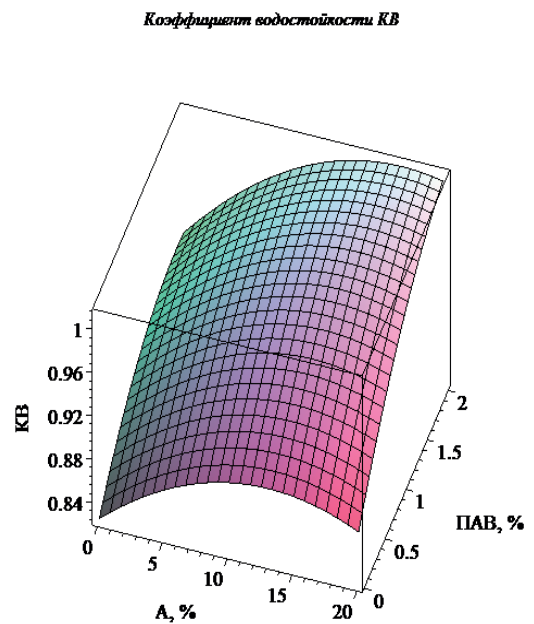


Рисунок 2 – Зависимость пористости (а), показателя битумоемкости (б), набухания (в) и коэффициента водостойкости (г) активированного минерального порошка от расхода асбеста и ПАВ (пример при $B = 2\%$)

свойств активированных минеральных порошков влияет содержание асбеста, битума, ПАВ и совместное действие этих факторов, что выражается в значимости коэффициентов в уравнениях регрессии при A , B , $ПАВ$, A^2 ,

B^2 , $ПАВ^2$ и $(A \cdot B \cdot ПАВ)$. Наибольшее влияние на снижение показателей пористости, битумоемкости, набухания и на увеличение коэффициентов водостойкости оказывают расходы битума и ПАВ.

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ПОДБОР СОСТАВОВ АКТИВИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Таблица 1 – Факторы, уровни факторов и интервалы их варьирования

Факторы	Кодированное значение	Уровни факторов			Интервал варьирования
		–1	0	+1	
Асбест хризотилковый (А), %	x	0	10	20	10
Битум (Б) %	y	0	1	2	1
Поверхностно-активное вещество (ПАВ), %	z	0	1	2	1

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты эксперимента

№ опыта	Порядок проведения опытов	Факторы			Свойства минерального порошка			
		x	y	z	П, %	ПБ, г/100 см ³	КВ	Н, %
1	10	–1	–1	–1	46,4	109	0,70	2,92
2	9	+1	–1	–1	40,0	73	0,76	2,40
3	1	–1	+1	–1	25,7	61	0,79	1,63
4	4	+1	+1	–1	22,2	54	0,83	1,54
5	2	–1	–1	+1	37,8	67	0,78	1,79
6	8	+1	–1	+1	36,0	60	0,80	1,65
7	3	–1	+1	+1	24,0	51	0,89	0,92
8	6	+1	+1	+1	20,2	43	1,00	0,36
9	7	–1	0	0	26,0	58	0,85	1,61
10	13	+1	0	0	25,7	54	0,87	0,98
11	11	0	–1	0	36,5	62	0,78	2,10
12	12	0	+1	0	22,4	46	1,00	1,02
13	5	0	0	–1	32,5	60	0,80	1,75
14	14	0	0	+1	25,7	50	0,95	0,79

Таблица 3 – Оптимальные свойства и составы активированных минеральных порошков

Показатель	Оптимальное значение		Содержание, % от массы золы-уноса		
	минимальное	максимальное	А	Б	ПАВ
Пористость, % по объему	19,18	-	20,00	2,00	1,26
Показатель битумоемкости, г/100 см ³	39,936	-	11,696	2,00	1,625
Коэффициент водостойкости	-	1,014	16,794	2,00	2,00
Набухание, % по объему	0,314	-	20,00	1,95	2,00

Графические зависимости изменения свойств активированных минеральных порошков от расхода для активации минеральной и органических добавок показаны на рис. 1 и 2. Из данных рис. 1 следует, что при увеличении количества битума и ПАВ для активации при расходе асбеста 10% понижаются П, ПБ, Н и увеличивается КВ. Минимальные значения показатели П, ПБ, Н и максимальные значения КВ принимают при расходах битума и ПАВ, равных 2% мас. Если активация золы-уноса проводится без применения битума, то ПБ выше 50 г/100 см³, П более 30% и Н более 1,8%, что не соответствует требованиям стандарта к активированному минеральному порошку марки МП-1. При неизменном расходе битума 2% мас. увеличение количества асбеста приводит к снижению П, ПБ и Н. Коэффициент водостойкости имеет экстремальную зависимость от содержания асбеста и максимальное значение принимает при содержании асбеста 11,696%. Увеличение количества ПАВ для активации минерального порошка способствует значительному снижению П, ПБ, Н и увеличению коэффициента водостойкости (рис. 2).

По уравнениям регрессии в результате оптимизации определены минимальные значения П, ПБ, Н и максимальное значение для КВ в зависимости от содержания активирующих добавок (табл. 3). Минеральные порошки из золы-уноса по минеральному составу сырья относятся к марке МП-3 [2]. Однако исследования показали, что активированные минеральные порошки на основе золы-уноса оптимальных и рациональных составов удовлетворяют требованиям ГОСТ 32761-2014 к активированному минеральному порошку из карбонатных горных пород марки МП-1. Рациональные составы активированных минеральных порошков могут быть получены: 1) активацией золы-уноса смесью битума с БАП-ДС-3 при расходе битума 1,0 – 2,0% и БАП-ДС-3 – 1,53 – 1,83%; 2) совместной активацией золы уноса асбестом хризотилowym в количестве 10 – 20% и смесью битума с БАП-ДС-3 при расходе битума 1,0-2,0% и БАП-ДС-3 – 1,0-2,0%.

При активации золы асбестом на поверхности частиц золы образуются адсорбционные центры из катионов магния Mg^{2+} с высоким положительным потенциалом, которые способствуют химической адсорбции битума (или смеси битума с ПАВ) с модифицированной поверхностью золы-уноса. Значительное улучшение свойств активированных минеральных порошков достигается при совмест-

ном размоле золы-уноса и асбеста, обработанной смесью битума с ПАВ. В результате физико-химического взаимодействия между адсорбционными центрами и смесью битума с ПАВ на поверхности зерен золы-уноса образуется тонкий слой высокоструктурированного битума, который является своеобразным структурно-механическим барьером, хемосорбционно-связанным с минеральной поверхностью. Структурно-механический барьер облегчает смачивание активированного минерального порошка битумом; дезагрегирует зерна минерального порошка; придает поверхности зерен гидрофобные свойства, способствует химическому взаимодействию битума с их поверхностью и снижает фильтрацию битума в поры минеральных зерен [1]. Кроме того, при совместном размолу золы-уноса с активирующими добавками изменяется форма зерен золы, уменьшается количество открытых и закрытых микро- и макропор, а также микротрещин гидрофильных стекловидных частиц. Изменение характера поверхности и формы частиц золы приводит к снижению пористости, битумоемкости, набухания и повышению коэффициента водостойкости активированного минерального порошка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием метода планирования эксперимента получены математические модели в виде уравнений регрессии, отражающие влияние расхода активирующих минеральной и органических добавок на свойства активированных минеральных порошков на основе золы-уноса. Планирование эксперимента позволило одновременно варьировать все факторы и получить количественные оценки основных факторов и эффектов взаимодействия.

Определены оптимальные и рациональные составы активированных минеральных порошков на основе сверхкислой золы-уноса, технические свойства которых соответствуют требованиям ГОСТ 32761-2014 к активированному минеральному порошку из карбонатных горных пород марки МП-1. Такие минеральные порошки могут быть получены: 1) активацией золы-уноса смесью битума с катионоактивным ПАВ; 2) совместной активацией золы уноса асбестом хризотилowym и смесью битума с катионоактивным ПАВ.

Активированные минеральные порошки на основе золы-уноса гидрофобны, характе-

ризуются низкими показателями пористости, битумоемкости и набухания, высокими коэффициентами водостойкости, что позволяет рекомендовать их для применения в любых асфальтобетонных и органоминеральных смесях, в том числе асфальтобетонных и полимерасфальтобетонных смесях I марки и щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гезенцвей, Л.Б. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцвей, Н.В. Горелышев, А.М. Богуславский, И.В. Королев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.
2. ГОСТ 32761 – 2014. Дороги общего пользования. Порошок минеральный. Технические требования. – Введен впервые; введ. 2015 – 02 – 01. – М. : ФГУП Стандартиформ, 2014. – 12 с.
3. Путилин, Е.И. Применение зол-уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог / Е.И. Путилин, В.С. Цветков // Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС. – М. : ФГУП Союздорнии, 2003. – 22 с.
4. Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве. ОДМ 218.2.031-2013. – Взамен ВСН 185-75. – М. : Федеральное дорожное агентство, 2013. – 44 с.
5. Ярмолинская, Н.И. Дорожный асфальтобетон с применением минеральных порошков из техногенных отходов промышленности: учеб. пособие. – Хабаровск : Изд-во Хабар. гос. ун-та, 2002. – 103 с.
6. Ярмолинская, Н.И. Повышение коррозионной стойкости асфальтобетона на основе отходов ТЭС / Н.И. Ярмолинская, Л.С. Цупикова // Строительные материалы. – 2007. – № 9. – С. 46 – 47.
7. Надыкто, Г.И. Исследование возможности использования вторичных продуктов переработки нефти в качестве минерального порошка для производства асфальтобетонных смесей / Г.И. Надыкто, В.С. Прокопец // Повышение эффективности дорожных и строительных материалов для условий Сибири: сб. науч. тр. Омск: Изд-во СибАДИ, 2000. С. 89 – 93.
8. Лесовик, В.С. Минеральные порошки из горных пород кислого состава / В.С. Лесовик, В.С. Прокопец, П.А. Болдырев // Строительные материалы. – 2005. – № 8. – С. 44–46.
9. Надыкто, Г.И. Структура и свойства асфальтовых вяжущих на основе минеральных порошков различной природы / Г.И. Надыкто, В.Д. Галдина, В.С. Прокопец // Строительные материалы. – 2011. – № 5. – С. 32 – 35.
10. Галдина, В.Д. Минеральные порошки из горючих сланцев / В.Д. Галдина, Е.В. Гурова, О.И. Кривонос, Е.Н. Терехова, Г.В. Плаксин, Е.А. Райская // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2015. – № 2. – С. 20 – 24.
11. Галдина, В.Д. Использование золы-уноса в качестве минерального порошка для асфальтобетона / В.Д. Галдина, М.С. Черногородова // Решение экологических проблем современного общества для устойчивого развития: сб. материалов научно-практической конференции, посвященной 20-летию юбилею кафедры экологии, природопользования и биологии. – Омск : ЛИТЕРА, 2016. С. 134 – 138.
12. Сиротюк, В.В. Стандартизация и перспективы использования золошлаков энергетики для дорожного строительства в России / В.В. Сиротюк // Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование: м-лы III науч.- практ. семинара, 22 – 23 апреля 2010. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – С. 58 – 59.
13. Степанец, В.Г. Опыт строительства дорожных одежд с основаниями из золоминеральных смесей в Омской области / В.Г. Степанец, М.В. Исаенко, А.В. Герасимов, И.В. Герасимова // Автомобильные дороги. – 2013. – № 9. – С. 93 – 94.
14. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М. : Статистика, 1992. – 375 с.
15. Аугамбаев, М. Основы планирования научно-исследовательского эксперимента / М. Аугамбаев, А.З. Иванов, Ю.И. Терехов; под ред. Г.М. Рудакова. – Ташкент : Укитувчи, 2004. – 336 с.
16. Адгезионная присадка БАП-ДС-3 для дорожных битумов / В.С. Прокопец, В.Д. Галдина, Г.И. Надыкто, Е.А. Бедрин // Строительные материалы. – 2005. – № 10. – С. 12 – 13.
17. Бродский В.З. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей: справочное издание / В.З. Бродский, Л.И. Бродский, Т.И. Голикова. – М. : Металлургия, 1982. – 752 с.

SELECTION OF STRUCTURES OF THE ACTIVATED MINERAL POWDERS WITH USE OF A METHOD OF PLANNING OF EXPERIMENT

V.D.Galdina, M.S.Chernogorodova

Abstract. With use of a method of mathematical planning of experiment structures are picked up and mathematical models of properties of the activated mineral powders on the basis of ashes-ablation depending on the expense of activating additives are received. Optimum structures and properties of the activated mineral powders on the basis of the ashes-ablation, corresponding to requirements of GOST 32761-2014 to the activated mineral powders of mark of MP-1, are established by means of software package Maple. Mathematical planning of experiment has allowed to reduce considerably process of selection and to optimise structures of the activated mineral powders with the set complex of properties.

Keywords: the activated mineral powder, an activating mineral additive, bitumen oil, ashes-ablation, mathematical models, surface-active substance.

REFERENCES

1. Gezentsvej, L.B., Gorelyshev, N.V., Boguslavsky, A.M., Korolev, I.V. Dorozhnyi asfal'tobeton [Road asphalt concrete]. Moscow. Transport. 1985. 350 p.
2. GOST 32761-2014. Dorogi odshchego polovanijas'. Poroshok mineral'nyi. Tekhnicheskie trebovaniya. [Public roads. A powder mineral. Technical requirements]. Vveden v pervye 2015 – 02 – 01. Moscow. Standartinform. 2014. 12 p.
3. Putilin, E.I. Primenenie zol-unosa i zoloshlakovykh smesey pri stroitel'stve avtomobil'nykh dorog. [Application of harms-ablations and zoloshlakovykh mixes at building of highways]. Obsornaeja informatsija otechestvennogo i zarubezhnogo opyta primeneniya otkhodov ot szhiganiya tverdogo topliva na TES. [The Survey information of domestic and foreign experience of application of a waste from burning of firm fuel on TES] Moscow. FGUP Sojuzdornii. 2003. 22 p.
4. Metodicheskie pekomentatsii po primeneniju zol-unosa i zoloshlakovykh smesey ot szhiganiya uglja na teplovykh elektrostantsijakh v dorozhnom stroitel'stve. ODM 218.2.031 – 2013. [Methodical recommendations about application of ashes-ablation and zoloshlakovykh mixes from coal burning on thermal power stations in road building' ODM 218.2.031 – 2013]. In exchange VSN 185 – 75. Moscow. Federal road agency. 2013. 44 p.
5. Jarmolinskaja, N.I. Dorozhnyi asfal'tobeton s primeneniem mineral'nykh poroshkov iz tekhnogennykh otkhodov promyshlennosti. Uchebnoe posobie. [Road asfaltobeton with application of mineral powders from a technogenic waste of the industry]. Studies the grant. Khabarovsk: Publishing house. Habar. gos. Un-y, 2002. 103 p.
6. Jarmolinskaja, N.I., Tsupikova, L.S. Povyshenie korrozionnoj stoykosti asfal'tobetona na osnove otkhodov TES [Increasing of the corrosion resistance of asphalt concrete from waste TES]. [Konstrukcion materials. 2007. No. 9. Pp. 46 – 47.
7. Nadykto, G.I., Prokopets, V.S. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya produktov pererabotki nefi v kachestve mineral'nogo poroshka dlja proizvodstva asfal'tobetonnykh smesey. [Issledovanie of possibility of use of by-products of oil refining as a mineral powder for manufacture asfaltobetonnykh mixes]. Povyshenie effektivnosti dorozhnykh i stroitel'nykh materialov dlja usloviy Sibiri. [Increase of efficiency of road and building materials for conditions of Siberia]. Sb. nauch. tr. Omsk: Publishing house SibAdl. 2000. Pp. 89 – 93.
8. Lesovik, V.S., Prokopets, V.S., Boldyrev, P.A. Mineral'nye poroshki iz gornykh porod kislogo sostava. [Mineral powders from rocks of sour structure Konstrukcion materials. 2005. No. 8. Pp. 44 – 46.
9. Nadykto, G.I., Galdina, V.D., Prokopets, V.S. Struktura i svojstva asfal'tovykh vjazhushch na osnive mineral'nykh poroshkov razlichnoj prirody [Struktura and properties asphalt knitting on the basis of mineral powders of the various nature]. Konstrukcion materials. 2011. No. 5. Pp. 32 – 35.
10. Galdina, V.D., Gurova, E.V., Krivonos, O.I., Rayskaya, E.A., Terecova, E.N., Plaksin, G.V. Mineral'nye poroshki iz gorjuchikh slantsev. [Mineral povders from combustible slates]. The Science and technics in road branch. 2015. No. 2. Pp. 20 – 24.
11. Galdina, V.D., Chernogorodova, M.S. Ispol'sovanie zoly-unosa v kachestve mineral'nogo

poroshka dlja asfal'tobetona [Use of ashes-ablation as the mineral powder for asphalt concrete]. Reshenie ekologicheskikh problem sovremenno-go obshchestva dlja ustoychivogo razvitiya. [The Decision of environmental problems of a modern society for a sustainable development: sb. Materials of the scientifically-practical conference devoted to 20-year-old anniversary of chair of ecology, wildlife management and biology] Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvjashchennoy 20-letnemu yubileyu kafedry ekologii, prirodopol'zovaniya i biologii. Omsk. LITERA. 2016. Pp. 134 – 138.

12. Sirotyuk, V.V. Standartizatsiya i perspektivy ispol'zovaniya zoloshlakov energetiki dlja dorozhnogo stroitel'stva v Rossii. [Standartizatsiya and use prospects zoloshlakov power for road building in Russia]. Zoloshlaki TES: udalenie, transport, pererabotka, skladirovanie. Materialy III nauchno-praknicheskogo seminar. [Zoloshlaki TES: removal, transport, processing, warehousing: m-ly III nauchn. – prakt. A seminar. 22 on April. 23rd 2010]. Moscow. Publishing house MEI, 2010. Pp. 58 – 59.

13. Stepanets, V.G., Isaenko, M.V., Gerasimov, A.V., Gerasimova, I.V. Opyt stroitel'stva dorozhnykh odezhd iz zolomineral'nykh smesey v Omskoy oblasti. [Opyt of building of road clothes with the bases from zolomineral'nykh mixes in the Omsk region]. Highways. 2013. Pp. 93 – 94.

14. Nalimov, V.V., Chernova N.A. Statisticheskie metody planirovaniya ekstremal'nykh eksperimentov. [Century of Century Statistical methods of planning of extreme experiments]. Moscow. Statistika. 1992. 375 p.

15. Augambaev, M., Ivanov, A.Z., Terekhov, Ju.I. Osnovy planirovaniya nauchno-issledovatel'skogo eksperimenta. [Osnovy of planning of

research experiment]. Tashkent. Ukituvchi. 2004. 336p.

16. Prokopets, V.S., Galdina, V.D., Nadykto, G.I., Bedrin, E.A. Adgezionnaya prisadka BAP-DS-3 dlja dorozhnykh bitumov. [Adhesive additive BAP-DS-3 for road bitumens]. Konstrukcion materials. 2005. No. 10. Pp. 12 – 13.

17. Brodskiy, V.Z., Brodskiy, L.I., Golikova, T.I. Tablitsy planov eksperimenta dlya faktornykh i polinomial'nykh modeley. Spravochnoe izdanie. [Tables of plans of experiment for factorial and polinomialnyh models. A reference media]. Moscow. Metallurgy. 1982. 752 p.

Галдина Вера Дмитриевна (Омск, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные материалы и специальные технологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: ver.galdina@yandex.ru)

Черногородова Мария Сергеевна (Омск, Россия) – аспирант кафедры «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: www.mamarya@mail.ru)

Vera Dmitrievna Galdina (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical sciences, the associate professor of Department «Construkcion materials and special technologies» of The Siberian automobile and highwau universitet (SibADI) (644080, Omsk, Mira Avenue, 5, e-mail: ver.galdina@yandex.ru)

Marija Sergeevna Chernogorodova (Omsk, Russian Federation) – The post-graduate student of Department «Hoisting-and-transport, Traction Cars and Hydraulik Aktuator » of The Siberian automobile and highwau universitet (SibADI) (644080, Omsk, Mira Avenue, 5, e-mail: www.mamarya@mail.ru)

УДК 624.012.45.046

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСКАЛЫВАНИЯ БЕТОНА В ЗОНЕ АНКЕРОВКИ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ

Ю.В. Краснощёков

Аннотация. В статье приведены результаты компьютерного моделирования опытных образцов, предназначенных для испытаний на выдергивание арматуры из бетона. Анализируется напряженное состояние бетона в зоне анкерования и определяются участки вероятного образования раскалывающих трещин при упругих деформациях материалов. Результаты расчета сравниваются с экспериментальными данными. Для теоретического обоснования возможного раскалывания привлекаются задачи теории упругости о действии сосредоточенной силы в точке бесконечного тела и полупространстве.

Ключевые слова: железобетон, напряженное состояние, анкеровка арматуры, испытания, моделирование, раскалывание, срез, теория упругости.

ВВЕДЕНИЕ

Цель данного исследования – выявление причин образования трещин раскалывания в зоне анкеровки ненапрягаемой арматуры при испытании по разным схемам и теоретическая оценка их влияния на разрушение анкеровки.

Появление на российском рынке арматуры с серповидным профилем потребовало пересмотреть расчетные зависимости с целью обеспечения необходимой надежности конструкций. Изменения в российских нормах в связи с этим вызвали широкую дискуссию по поводу нормирования и надежности прямой анкеровки арматуры [1]. В процессе дискуссии было выявлено, что существуют два подхода к модели взаимодействия арматуры периодического профиля и бетона. В американских нормах учитывается вероятность разрушения от раскалывания бетона, окружающего арматурный стержень. В отечественных нормах сделан упор на модель, в которой разрушение происходит срезом от нарушения сцепления арматуры с бетоном, хотя были известны факты, подтверждающие раскалывание бетона, окружающего арматуру периодического профиля [2].

Разрушение от раскалывания обычно связывают с образованием и развитием трещин вдоль арматуры. СНиП 2.03.01-84 предусматривал конструктивные меры при образовании вдоль анкеруемых стержней трещин от растяжения бетона. Однако условия образования таких трещин в зоне анкеровки нормы проектирования не оговаривали. В действующих нормах о возможности раскалывания бетона в зоне анкеровки ненапрягаемой арматуры вообще не упоминается.

Установлено, что разрушение срезом зависит от вида периодического профиля стержневой арматуры. О влиянии вида периодического профиля на разрушение раскалыванием пока нет достаточных данных. В работе [3] утверждалось, что стержневая арматура любого периодического профиля одинаково раскалывает окружающий бетон, особенно в тонкостенных конструкциях. В настоящее время разработаны расчетные модели анкеровки с различным характером разрушения, причем разрушение расколом в основном связывают с размерами защитного слоя и прочностью бетона на растяжение [4].

Эмпирической основой расчетных зависи-

мостей в СССР и России являются испытания «на выдёргивание» арматурного стержня из призмы, опёртой торцом (рис. 1-2). В последние годы чаще всего применяется схема, рекомендованная в 1983 г. международными исследовательскими организациями RILEM, FIP и CEB (рис. 1-1) [5, 6]. При испытании специальных образцов по такой схеме разрушение анкеровки происходит как путем среза контактного слоя, так и в результате раскалывания бетона вследствие развития трещин вдоль арматуры. Однако в таких образцах арматура располагается на достаточно большом расстоянии от свободных граней бетона и результаты испытаний вряд ли могут быть основанием для расчетных моделей, связанных с размерами защитного слоя. Кроме того при раннем раскалывании бетона опытная оценка прочности сцепления, если она является основной целью испытаний, не может быть достоверной. Поэтому причины раскалывания бетона и разрушения анкеровки в таких образцах требуют объяснения, необходимого для оценки надежности опытных данных и совершенствования расчетных моделей.

Так как действующими нормами проектирования допускается выполнять расчет по образованию трещин без учета неупругих деформаций, то при исследовании использованы решения задач теории упругости.

МОДЕЛИ АНКЕРОВКИ И РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Модель взаимодействия арматуры с бетоном, которая реализована при разрушении анкеровки срезом, была положена в основу технической теории сцепления, разработанной в ВНИИЖелезобетоне с рядом упрощающих допущений. Одно из допущений связано с пренебрежением напряженно-деформированным состоянием бетона в оболочке, окружающей арматуру за пределом контактного слоя, в результате чего разрушение анкеровки происходит только путем среза. Признавая этот недостаток, авторы теории сцепления допускали возможность устранения его специальными (конструктивными) методами. Они считали, в частности, что «во многом случайный характер развития продольных трещин, их опасность и трудность расчетного прогноза заставляют широко применять поперечное армирование» [2].

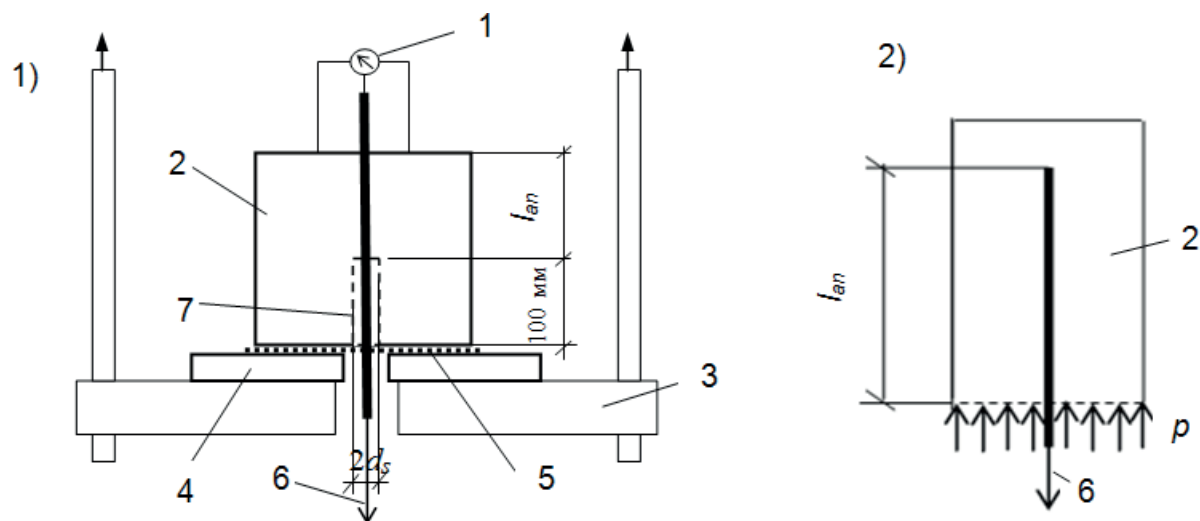


Рисунок 1 – Схемы испытания на выдергивание:
1) по рекомендациям RILEM/CEB/FIP; 2) призма, опёртой торцом
1 – измеритель деформаций; 2 – испытуемый образец бетона; 3 – опорная плита;
4 – стальная пластина; 5 – резиновая прокладка; 6 – направление усилия выдергивания;
7 – участок с нарушенным сцеплением

Эмпирической основой теории сцепления были многочисленные результаты экспериментальных исследований, выполненных, в основном, по упрощённой схеме испытания «на выдёргивание» арматурного стержня из призмы, опёртой торцом (рис. 1-2).

Однако испытания по такой схеме отвечают далеко не самому неблагоприятному случаю анкеровки, так как бетон, окружающий стержень, сжимается реактивным давлением p и улучшает условия анкеровки. Такие опыты дают завышенное сопротивление выдергиванию из-за стеснения развития трещин раскалывания и разрушение от раскалывания обычно не происходит.

Конструктивной особенностью образцов для испытания по схеме 1-1 является наличие участка с нарушенным (устраненным) сцеплением, влияние которого на напряженное состояние бетона в зоне анкеровки не может не проявляться. При испытании по этой схеме возможно разрушение как путем среза, так и в результате раскалывания бетона. Для понимания причин и условий раскалывания выполнен анализ напряженного состояния бетона в опытных образцах, испытанных по схеме 1-1.

При исследовании использован метод компьютерного моделирования и результаты испытаний, приведенные в монографии [5].

Испытания проводили в разных организациях с целью определения прочности и деформативности сцепления арматуры пе-

риодического профиля с бетоном. Всего испытывали 335 образцов с размерами $200 \times 200 \times 200$ мм при $l_{an} = 100$ мм, а также $250 \times 250 \times 250$ мм и $300 \times 300 \times 300$ мм при $l_{an} > 100$ мм. Длину анкеровки l_{an} изменяли в пределах от $5d_s$ до $15d_s$. В образцах предусматривали зону с нарушенным сцеплением длиной 100 мм. Выдергивание арматурных стержней из бетона происходило либо при срезе бетона ребрами профиля, либо при раскалывании бетонного образца. Срез наблюдался при малых величинах l_{an} или относительно низкой прочности бетона. При $l_{an} > 8d_s$ и расчетном сопротивлении сжатию $R_b > 17$ МПа разрушение, как правило, происходило при раскалывании бетона.

Для модели бетона образцов применены универсальные пространственные восьмиузловые изопараметрические конечные элементы КЭ-36 $10 \times 10 \times 10$ мм ($E_b = 30000$ МПа), для стальной арматуры стержневые элементы КЭ-10 ПК «Лира» длиной по 10 мм. При моделировании соблюдались все размеры опытных образцов (кроме сечения скважины на участке с нарушенным сцеплением, которое во всех случаях принято 20×20 мм). Усилия выдергивания арматуры из бетона моделировали узловой нагрузкой N в точке с координатами $X = Y = Z = 0$.

Некоторые результаты моделирования приведены в работе [6].

Для получения общего представления о компьютерной модели на рис. 2 показаны ха-

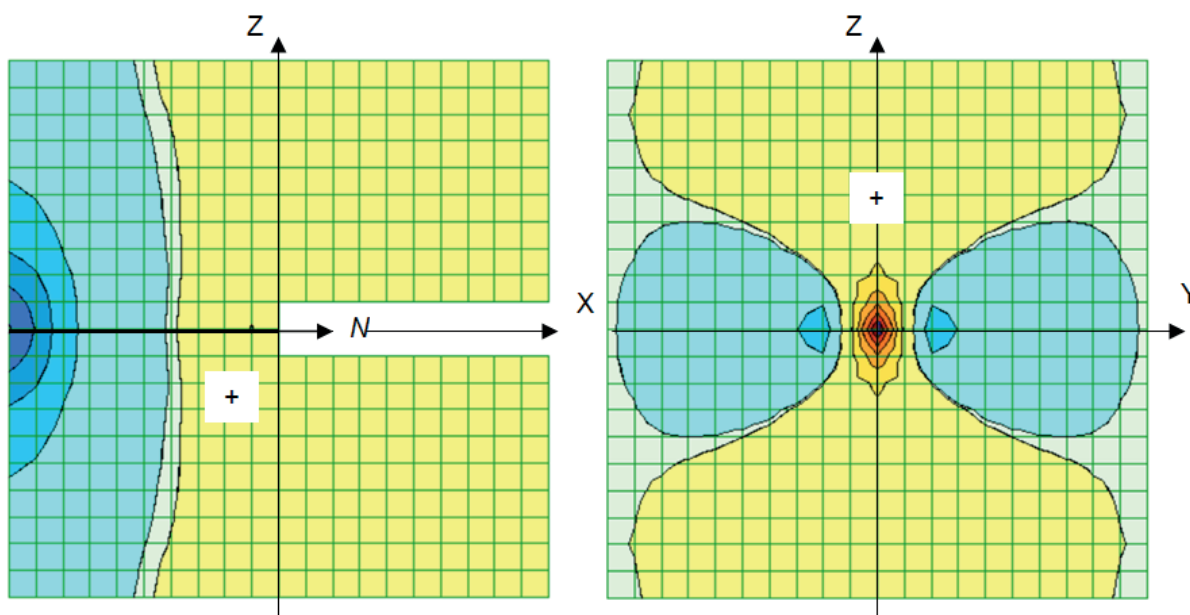


Рисунок 2 – Изополя напряжений σ_y в компьютерных моделях опытных образцов при выдергивании арматурного стержня усилием N (+ растяжение)

рактерные изополя раскалывающих напряжений σ_y в плоскостях XOZ (сечение $Y = 0$) и YOZ (сечение $X = 0$).

Основное внимание обращено на максимальную величину напряжений σ_y в массиве бетона. При обработке численных результатов принято сопротивление бетона растяжению при раскалывании $R_{tt} = 0,1R_b$ [7]. Считается, что при условии $\sigma_y > R_{tt}$ образуются трещины раскола и более вероятно разрушение образцов от раскола. В противном случае образцы разрушаются в результате среза бетона арматурой. Очевидно, что при равенстве $\sigma_y = R_{tt}$ разрушение по разным схемам равновероятно.

Основные выводы из анализа напряженно-го состояния бетона опытных образцов:

- в зону вероятного раскалывания входит весь участок с нарушенным сцеплением арматуры (при отсутствии антифрикционных прокладок этот участок сокращается на 2 – 3 см) и приблизительно треть длины анкеровки;
- при смещении точки приложения усилия N вглубь анкеровки качественная картина распределения раскалывающих напряжений не изменяется;
- по мере удаления от арматуры зона раскалывания увеличивается и распространяется практически на всю ширину образцов;
- максимальные значения раскалывающих напряжений σ_y получены в конечных элементах, непосредственно примыкающих к точке приложения усилия N , и во всех случаях зна-

чительно превышают сопротивление бетона растяжению при раскалывании R_{tt} ;

- обнаружены элементы, назовем их критическими (на рисунке 2 во всех случаях их координаты $X = -1,5$ см, $Y = \pm 1,5$ см и $Z = \pm 0,5$ см), в которых значения раскалывающих напряжений могут превышать величину R_{tt} ;

- в остальных элементах значения раскалывающих напряжений меньше R_{tt} ;

- значения напряжений в критических элементах уменьшаются с увеличением диаметра арматуры, длины анкеровки и поперечных размеров образцов, а также при смещении усилия N вглубь зоны анкеровки;

В табл. 1 приведены численные значения некоторых параметров напряженного состояния опытных образцов. При расчете характер разрушения раскалыванием установлен по условию $\sigma_y > R_{tt}$ в критических конечных элементах.

В результате анализа напряженного состояния бетона опытных образцов установлено, что характер разрушения при моделировании в упругой стадии деформирования не совпал с опытными данными в 5 случаях из 22.

Предположено, что на результаты испытаний в отмеченных случаях могли оказать влияние неупругие деформации арматуры и образование трещин в бетоне, особенно при продолжительном нагружении образцов. Влияние неупругих деформаций учитывалось в расчете заменой сосредоточенной силы N на усилие, распределенное вдоль некоторой ча-

Таблица 1 – Результаты анализа напряженного состояния опытных образцов

№	d_s , мм	N, кН	R_{tt} , МПа	σ_y , МПа		Характер разрушения		
				МКЭ	(1)	опыт	МКЭ	(1)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	12	16,25	1,7	0,9	1,0	срез	срез	срез
2	12	34		1,9 (1,6)	2,1 (1,6)	срез	раскол (срез)	раскол (срез)
3	14	32,4		1,6	1,7	срез	срез	срез
4	16	68,3		2,7	3,2	раскол	раскол	раскол
5	18	35,5		1,3	1,5	раскол	срез	срез
6	18	66,5		2,3	2,7	раскол	раскол	раскол
7	25	82,5		2,1	2,6	раскол	раскол	раскол
8	12	26,8	3,5	1,5	1,6	срез	срез	срез
9	12	48,3		2,7	3,0	срез	срез	срез
10	14	49,1		2,4	2,6	срез	срез	срез
11	16	90,3		3,6	4,2	раскол	раскол	раскол
12	18	65,5		2,4	2,7	срез	срез	срез
13	18	97,2		3,4	4,0 (3,1)	срез	срез	раскол (срез)
14	25	145		3,8	4,6	раскол	раскол	раскол
15	20	69,8	2,4	2,4 (2,2)	2,6 (2,4)	срез	срез	раскол (срез)
16	20	84		2,6	3,2	раскол	раскол	раскол
17	20	83,5		2,9 (2,3)	3,2 (2,2)	срез	раскол (срез)	раскол (срез)
18	20	87		2,7	3,3	раскол	раскол	раскол
19	25	101,6		2,7 (2,2)	3,2 (2,2)	срез	раскол (срез)	раскол (срез)
20	25	111,3		2,8	3,5	раскол	раскол	раскол
21	25	145		3,9 (2,4)	4,6 (2,3)	срез	раскол (срез)	раскол (срез)
22	25	116,9		2,9	3,7	раскол	раскол	раскол

сти длины анкеровки (соответствующие значения σ_y приведены в скобках). Так, при распределении усилия всего на 2 см длины анкеровки выполняется условие среза $\sigma_y < R_{tt}$ в серии 2 и 15, при распределении на 3 см длины в сериях 17 и 19. В серии 21 зафиксировано максимальное значение опытного усилия, действие которого очевидно было самым продолжительным. Текучесть арматуры в этом случае должна распространиться на длине не менее 7 см при $l_{an} = 12,5$ см. Таким образом, характер разрушения при моделировании испытаний в целом не совпал с опытным характером только в 1 случае (серия 5) из 22 (менее 5%).

Для оценки влияния арматуры разных сечений на напряженное состояние опытных образцов сравнили расчетные значения раскалывающих напряжений σ_y в образцах одинаковых размеров $200 \times 200 \times 200$ мм и $l_{an} = 100$ мм. В столбце 3 таблицы 2 приведены эти

значения в точках с координатами $X = -1,5$ см и $Y = \pm 1,5$ см (в скобках приведены максимальные значения напряжений для арматуры А 500). В строке 7 приведены значения напряжений σ_{oy} при действии силы $N = 10$ кН в начале координат без учета влияния арматуры.

Компьютерное моделирование позволяет сравнить различные схемы испытаний и в какой-то степени оценить погрешности каждой из них. В табл. 2 приведены также расчетные значения напряжений σ_y при отсутствии участка с нарушенным сцеплением. При исключении таких участков из расчетных моделей образцов максимальные значения напряжений σ_y находятся в точках с координатами $X = 1,5$ см и $Y = \pm 0,5$ см. При отсутствии арматуры критические напряжения $\sigma_{oy} = 0,38$ МПа получены при $X = 0,5$ см и $Y = \pm 1,5$ см.

На рис. 3 изображены характерные изополя напряжений σ_y в массиве бетона при от-

Таблица 2 – Значения раскалывающих напряжений σ_y при расчете методом КЭ

№	d_s , мм	С участками нарушенного сцепления		Без участков нарушенного сцепления	
		σ_y , МПа	$k = \sigma_y / \sigma_{0y}$	σ_y , МПа	$k = \sigma_y / \sigma_{0y}$
1	2	3	4	5	6
1	12	0,57 (2,8)	1,64	0,50 (2,4)	1,32
2	14	0,48 (3,2)	1,40	0,46 (3,1)	1,22
3	16	0,43 (3,7)	1,23	0,43 (3,7)	1,14
4	18	0,38 (4,2)	1,10	0,41 (4,5)	1,08
5	20	0,35 (4,8)	1,01	0,39 (5,3)	1,03
6	25	0,29 (6,3)	0,85	0,35 (7,5)	0,94
7	0	$\sigma_{0y} = 0,35$	1	$\sigma_{0y} = 0,38$	1

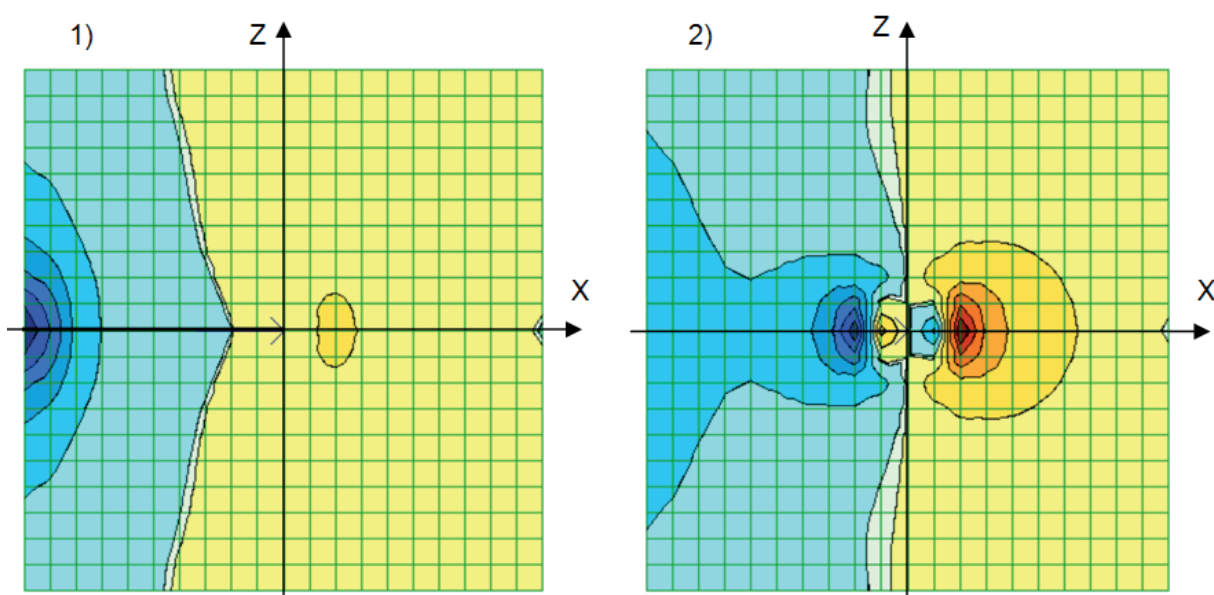


Рисунок 3 – Изополя напряжений σ_y в массиве бетона при действии сосредоточенного усилия в начале координат: 1) с арматурой; 2) без арматуры

существования участка с нарушенным сцеплением. Следует отметить, что при исключении конечных элементов арматуры и участка с нарушенным сцеплением (рис. 3-2) раскалывание возможно только за пределами предполагаемой зоны анкеровки.

В натурных условиях испытательную схему без участка с нарушенным сцеплением реализовать очень сложно, хотя она, по нашему мнению, в наибольшей степени отражает действительную работу элементов при расположении арматуры в массиве бетона.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАСКАЛЫВАНИЯ

Результаты расчета с использованием КЭ-моделей являются приближенными. Для

оценки степени приближения рассмотрена задача действия силы, приложенной в некоторой точке бесконечного тела, совмещенной с началом координат.

Пример приближенного решения этой задачи методом КЭ приведен на рис. 3-2. Точное решение в цилиндрических координатах при действии силы в направлении оси симметрии x получено Кельвином в виде уравнения напряжений в окружном направлении [8]. Уравнение Кельвина уточнено введением коэффициента k , учитывающего влияние арматуры и участка с нарушенным сцеплением (столбец 4 табл. 2)

$$\sigma_y = \frac{kN(1-2\nu)x}{8\pi(1-\nu)(x^2+y^2)\sqrt{x^2+y^2}}, \quad (1)$$

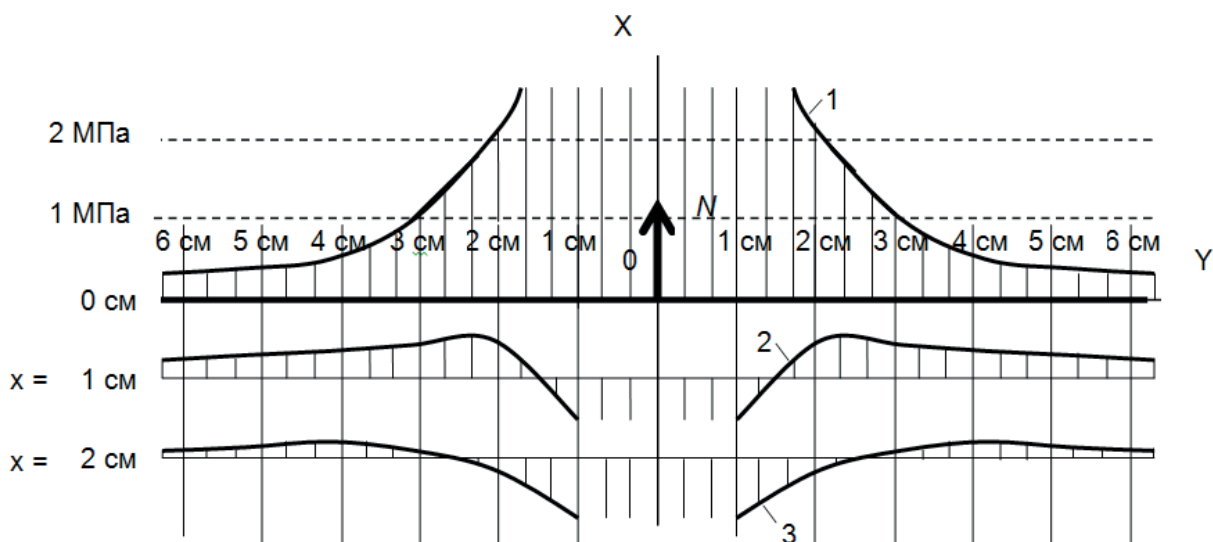


Рисунок 4 – Эпюры напряжений σ_y на границе полупространства – 1, на глубине 1 см – 2 и на глубине – 2 см

где $\nu = 0,2$ – коэффициент Пуассона бетона.

Значения напряжений, определенные по формуле (1), в отдельных точках совпали с расчетными значениями метода КЭ (например, в ранее отмеченных точках с координатами $X = 0,5$ см и $Y = \pm 1,5$ см при $k = 1$ получено $\sigma_y = 0,38$ МПа).

В таблице 1 для сравнения приведены результаты расчета опытных образцов по формуле (1). Завышенные значения раскалывающих напряжений можно уточнить распределением силы N по длине анкеровки. При этом расчет сводится к решению нескольких уравнений (1) с увеличением на единицу координаты x в каждом последующем уравнении и усреднением силы N .

Например, для серии 2 (см. таблицу 1) условие среза $\sigma_y < R_{\text{т}}$ получено распределением силы N на 5 см при длине анкеровки 14,5 см, для серии 13 распределением силы N на 5 см при длине анкеровки 12 см, для серии 15 на 4 см при длине анкеровки 10 см, для серии 17 на 6 см при длине анкеровки 10 см, для серии 19 на 6 см при длине анкеровки 12,5 см и для серии 21 на 9 см при длине анкеровки 12,5 см.

Для исследования напряженного состояния бетона в зоне анкеровки при испытании по схеме 1-2 можно применить теоретическую модель с силой на границе полупространства. Точное решение этой задачи в цилиндрических координатах при действии силы в направлении оси симметрии x получено Буссинеском [8]. Расчетные значения напряжений в окружном направлении определяются из уравнения

$$\sigma_y = \frac{kN}{2\pi} (1-2\nu) \left[\frac{1}{y^2} - \frac{x}{y^2 \sqrt{x^2 + y^2}} - \frac{x}{(x^2 + y^2) \sqrt{x^2 + y^2}} \right]. \quad (2)$$

При определении напряженного состояния бетона в зоне анкеровки по формуле (2), в отличие от результатов испытаний по схеме 1-1, не учитывается влияние реактивного давления p , зачастую искажающего действительную работу конструкции.

На рис. 4 показаны эпюры окружных напряжений от сосредоточенной силы $N = 10$ кН, приложенной в начале координат и моделирующей выдергивание арматуры из бетона. Растягивающие напряжения, действующие по всей поверхности границы полупространства, могут быть причиной раскола поверхности бетона. Однако уже на небольшой глубине от поверхности (1 – 2 см) вблизи оси, по направлению которой предполагается установка арматуры, окружные напряжения меняют знак и раскол в принципе невозможен.

Моделирование системы в конечных элементах подтвердило характер раскалывающих напряжений.

Ограничения полупространства с одной или двух сторон участками, размеры которых соизмеримы с защитным слоем бетона в железобетонных конструкциях, практически не влияют на характер напряжений вблизи силы, несколько снижая их величину (рис. 5).

Известно решение задачи с силой N , заглу-

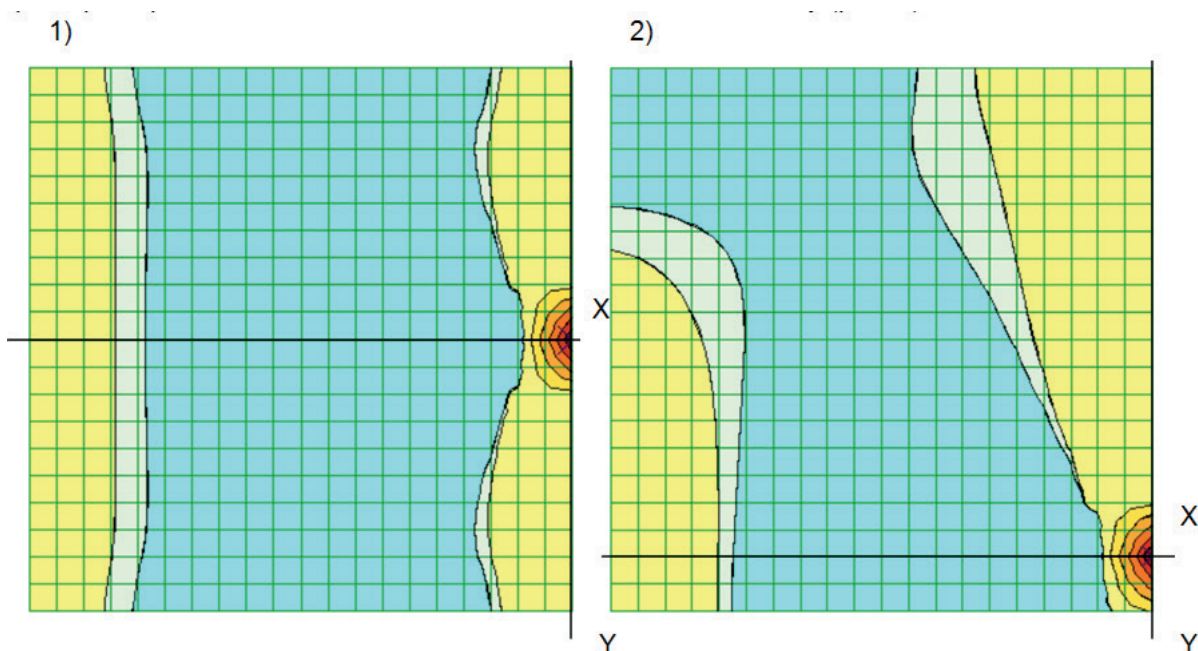


Рисунок 5 – Изополя раскалывающих напряжений в бетонном кубе 200×200×200 мм при действии сосредоточенного усилия на расстоянии от ребра: 1) 100 мм; 2) 20 мм

бленной на расстояние c от поверхности упругого полупространства. Для пространственных систем в прямоугольных координатах оно получено Р. Миндлином в виде уравнения

$$\sigma_y = -\frac{kN}{8\pi(1-\nu)} \left\{ \frac{(1-2\nu)(x-c)}{d_1^3} + \frac{(1-2\nu)[3(x-c)-4\nu(x+c)]}{d_2^3} + \frac{6c(x+c)[(1-2\nu)x-2\nu c]}{d_2^5} - \frac{4(1-\nu)(1-2\nu)}{d_2(d_2+x+c)} \right\}, \quad (3)$$

где $d_1 = \sqrt{(x-c)^2 + y^2}$ и $d_2 = \sqrt{(x+c)^2 + y^2}$.

Решение этой задачи может быть применено при анализе напряженного состояния бетона при действии силы, распределенной по длине анкеровки.

ВЫВОДЫ

Метод компьютерного моделирования мо-

жет быть действенным средством прогнозирования характера трещинообразования и разрушения прямой анкеровки от раскалывания.

Не выявлено прямой зависимости раскалывающих напряжений от длины анкеровки. На величину раскалывающих (окружных) напряжений влияет длина участка анкеровки, на которой распределяется выдергивающая сила, или глубина смещения сосредоточенной силы в зону анкеровки.

Образование раскалывающих трещин и разрушение расколом зависит, главным образом, от прочности бетона на растяжение при раскалывании R_{tt} и степени распределения выдергивающей силы.

При испытании анкеровки по схеме 1-1 характер разрушения во многом случаен и зависит от продолжительности действия выдергивающей силы. Возможность раскола рекомендуется проверять из расчетного условия $\sigma_y > R_{\text{tt}}$. Раскалывающие напряжения σ_y определяются в критических точках с координатами $X = -1,5$ см и $Y = \pm 1,5$ см по формуле (1) от действия сосредоточенной силы N , приложенной в начале координат (см. рис. 2) с учетом влияния диаметра арматуры (см. табл. 2). Возможно снижение величины раскалывающих напряжений путем распределения сосредоточенной силы N методом, описанным в статье. Очевидно степень распределения силы и снижения опасности разрушения расколом за-

висит от продолжительности нагружения. Чем продолжительнее нагружение, тем больше вероятность разрушения срезом.

При проектировании величину раскалывающих напряжений на анкеровку целесообразно оценивать по схеме упругого полупространства с применением расчетных моделей (2) и (3) и учетом влияния защитного слоя толщиной u .

Представляется, что применение конструктивных методов исключения раскола (поперечное армирование) способствует благоприятному распределению выдерживающей силы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов, И.Н. К дискуссии по статье «О нормировании анкеровки стержневой арматуры» / И.Н.Тихонов, В.З. Мешков, Г.Р. Судаков. // Бетон и железобетон. 2007. – №1. – С. 28-30.
2. Холмянский, М.М. Контакт арматуры с бетоном / М.М. Холмянский. – М. : Стройиздат, 1981. – 184 с.
3. Скоробогатов, С.М., Эдвардс А.Д. Вли-

яние вида периодического профиля стержневой арматуры на сцепление с бетоном / С.М. Скоробогатов, А.Д. Эдвардс. // Бетон и железобетон. – 1979. – № 9. – С. 20-21.

4. Бедарев, В.В. Базовая длина анкеровки арматуры периодического профиля с учетом относительной площади смятия и характера разрушения бетона / В.В. Бедарев, Н.В. Бедарев, А.В. Бедарев. // Бетон и железобетон. – 2013. – № 1. – С. 18 – 23.

5. Мадатян, С.А. Арматура железобетонных конструкций / С.А. Мадатян. – М. : Воентехлит, 2000. – 256 с.

6. Краснощеков, Ю.В. Моделирование анкеровки арматуры в бетоне / Ю.В. Краснощеков. // Вестник СибАДИ. – 2015. – №.4. – С. 64 – 69.

7. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартинформ, 2013. – 30 с.

8. Тимошенко, С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М. : Наука, 1975. – 576 с.

CLEAVING MODELING OF CONCRETE IN THE ZONE ANCHORING FREE OF TENSION FITTING

Yu. V. Krasnoshchekov

Abstract. The article presents the results of computer simulation of prototypes designed to test pull-out reinforcement of concrete. Analyzes the state of stress of concrete in the anchorage zone and identifies areas likely splitting the formation of cracks in elastic deformations of the materials. The calculation results are compared with experimental data. For a theoretical justification of a possible splintering involved elasticity problem of the action of a concentrated force at the point of infinite-finite body and a half.

Keywords: reinforced concrete, the state of stress, anchoring reinforcement is-tests carried modeling, chopping, cut, elasticity theory.

REFERENCES

1. Tikhonov I.N., Meshkov V.Z., Sudakov G.N. K discussii po statie "O normirovanii ankerovki stergnevoy armatury" [The discussion on the article "On the normalization of anchoring rod reinforcement"]. Beton i gelesobeton, 2007, no 1, pp. 28-30.
2. Kholmyanskii M.M. Kontakt armatury s betonom [Contact reinforcement with concrete]. Moscow, Sroyizdat, 1981. 184 p.
3. Skorobogatov S.M., Edwards A.D. Vlianie vida periodicheskogo profilja na szeplenie s betonom [Influence of the type of periodic profile, reinforcing rods adhesion]. Beton i gelesobeton, 1979, no 9, pp. 20-21.

4. Bedarev V.V., Bedarev N.V., Bedarev A.V. Basovaja dlina ankerovki armatury periodicheskogo profilja s uchetom otnositelnoi ploshchadi smjatija i charaktera rasrushenija betona [Basic anchoring reinforcement period length, the flat profile, taking into account the relative area of collapse and destruction of nature]. Beton i gelesobeton, 2013, no 1, pp. 18-23..

5. Madatyan S.A. Armatura gelesobetonnyh konstrukzij [Reinforcement of concrete structures]. Moscow, Voentechlit, 2000. 256 p.

6. Krasnoshchekov Yu.V. Modelirovanije ankerovki armatury v betone [Simulation of anchorage reinforcement in concrete]. Vestnik SibADI, 2015, No 4. pp. 64-69.

7. GOST 10180-2012. Betony. Metody opre-

концепции пучения цельного мерзлого массива, которая ранее была предложена для объяснения одинакового выпучивания столбов с разной засыпкой. На основе этой концепции в [4] были предложены расчетные схемы для оценки неравномерности выпучивания трубчатых стальных свай.

В связи с изложенным выше необходимо привести расчетную схему винтовой сваи, находящейся в мерзлом пучинистом грунте. На рис. 1 показана одиночная винтовая свая, погруженная в мерзлый грунт на глубину L_{II} . Неподвижность сваи обеспечивается условием:

$$F_{CM} \leq F_{CII} + N, \quad (1)$$

где F_{CM} – сила смерзания сваи с мерзлым грунтом, кН; F_{CII} – сила сцепления сваи с талым грунтом, кН; N – сумма собственного веса сваи и нагрузки на нее, кН.

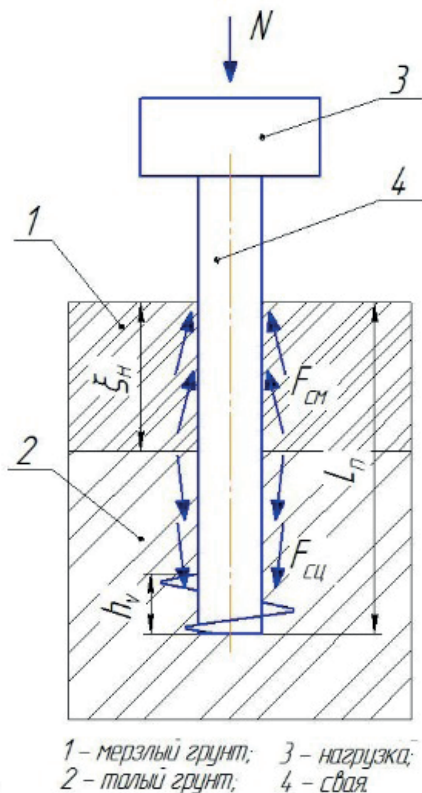


Рисунок 1 – Винтовая свая с нагрузкой в промерзающем грунте

Сумма собственного веса сваи и нагрузки на нее определяется по формуле:

$$N = N_C + N_D, \quad (2)$$

где N_C – вес подземной части сваи, кН; N_D – дополнительная нагрузка, кН.

Вес надземной части сваи учитывается в величине дополнительной нагрузки.

Вес подземной части сваи с учетом [4] определяется по формуле:

$$N_C = 0,91 \cdot L_{II}, \quad (3)$$

где 0,91 – вес 1 метра винтовой сваи, кН; L_{II} – глубина погружения сваи.

В условии (1) F_{CM} не равна силе пучения, а лишь определяет возможность реализации этой силы. О том, что нельзя отождествлять силу смерзания и силу пучения, например, упоминается в [5].

Сила смерзания сваи с мерзлым грунтом по рекомендациям [3] определяется по формуле:

$$N_C = 0,91 \cdot L_{II}, \quad (4)$$

а сила сцепления сваи с талым грунтом определяется из зависимости:

$$N_C = 0,91 \cdot L_{II}, \quad (5)$$

где τ_{CM} – удельная сила смерзания материала сваи с мерзлым грунтом, кПа; τ_{CM} – удельная сила сцепления материала сваи с талым грунтом, кПа; ξ_H – глубина промерзания поверхности грунта, м; P – периметр винтовой сваи по диаметру ствола, м; A_{sh} – площадь поверхности сцепления сваи в талом грунте в пределах винтовой части, м²; A_{fh} – площадь поверхности сцепления сваи в талом грунте без учета винтовой части, м².

Периметр винтовой сваи по диаметру ствола определяется по формуле:

$$P = \pi \cdot d, \quad (6)$$

где d – диаметр ствола винтовой сваи, м.

Площадь поверхности сцепления сваи в талом грунте в пределах винтовой части с учетом [6] и [7] определяется по формуле:

$$A_{sh} = \pi \cdot D \cdot (h_v + D), \quad (7)$$

где D – диаметр лопасти винтовой сваи, м; h_v – высота винтовой части, м.

Площадь поверхности сцепления сваи в талом грунте без учета винтовой части определяется по формуле:

$$A_{\text{п}} = P \cdot (L_{\text{п}} - \xi_{\text{н}} - h_{\text{в}}), \quad (8)$$

С учетом выполнения равенства левой и правой части условия (1) и формул (2) – (8) можно определить критическое значение глубины промерзания $\xi_{\text{н}}$:

$$\xi_{\text{н}} = \frac{\tau_{\text{сц}} \cdot (A_{\text{ш}} + A) + N}{P \cdot (\tau_{\text{сц}} + \tau_{\text{см}})}, \quad (9)$$

где A – площадь поверхности сваи, погруженной в грунт без учета винтовой части, м^2 .

Площадь поверхности сваи, погруженной в талый и мерзлый грунт без учета винтовой части определяется по формуле:

$$A = P \cdot (L_{\text{п}} - h_{\text{в}}), \quad (10)$$

Параметры $\tau_{\text{см}}$ и $\tau_{\text{сц}}$ зависят от физико-механических характеристик грунтов: литологического состава, влажности, плотности, температуры грунта и других [5]. Эти параметры могут изменяться даже на небольших расстояниях, а, следовательно, и величина

$\xi_{\text{н}}$. Поэтому критическая глубина промерзания, при которой начинается процесс пучения у двух винтовых свай с одинаковыми параметрами N и D может различаться. Свая с меньшей величиной $\xi_{\text{н}}$ подвержена более раннему выпучиванию.

Разница в величине выпучивания двух свай в см по рекомендациям [4] определяется по формуле:

$$\Delta = 100 \cdot \delta \cdot (\xi_{\text{н}1} - \xi_{\text{н}2}),$$

где δ – модуль пучения грунта; $\xi_{\text{н}1}$ – глубина промерзания поверхности грунта для 1-ой сваи, м; $\xi_{\text{н}2}$ – глубина промерзания поверхности грунта для 2-ой сваи, м.

Для оценки возможной разницы в величине выпучивания были произведены расчеты для двух одинаковых винтовых свай типа ВСЛМ по ТУ 5264-006-05773342-2007. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

В расчетах принималось условие, что обе сваи являются опорами надземного нефтегазопровода, сооруженного на территории распространения мерзлых грунтов с определенными физико-механическими характеристиками. Диаметр ствола свай равен 325 мм, диаметр лопасти винта – 408 мм, длина каждой

свай – 6 м и толщина стенки – 10 мм. Высота винтовой части свай равна 400 мм. Для обеих

свай также принимается $\tau_{\text{сц}1} = \tau_{\text{сц}2} = 30$ кПа; удельное смерзание второй сваи с мерзлым

грунтом $\tau_{\text{см}2} = 60$ кПа; удельное смерзание

первой сваи с мерзлым грунтом $\tau_{\text{см}1}$ изменяется и условно составляет 80 и 100 кПа; модуль пучения принимаем 0,15. Для анализа полученных данных и сравнения результатов при расчетах изменяются также глубина погружения обеих свай, которая условно составляет 2, 3 и 4 м; и величина дополнительной нагрузки – 2, 6 и 10 кН.

Полученные значения дают оценку неравномерного выпучивания двух винтовых свай, происходящего за год эксплуатации возведенного нефтегазопровода.

Для двух винтовых одиночных свай, находящихся в грунтах с различными характеристиками, по полученным значениям построены соответствующие графики. Зависимость величины неравномерности выпучивания от нагрузки на винтовые сваи при одинаковой глубине погружения (2 м) представлена на рис. 2, на рис. 3 – зависимость неравномерности выпучивания от глубины погружения свай в грунт при постоянной нагрузке, например, 2 кН.

Данная методика в большей степени применима для расчета деформаций свайного основания в супесях, глинистых и суглинистых грунтах. В песчаных грунтах явление выпучивания наблюдается при обильном насыщении талых грунтов водой [8]. Талый грунт образует замкнутую систему, поскольку мерзлый грунт не пропускает воду. Во время промерзания этого замкнутого пространства, возрастает давление грунта вместе с водой, которые образуют одну структуру. Когда величина этого давления становится больше силы промерзания замкнутой полости, свая выдавливается вверх.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов расчета по представленной выше методике позволяет сделать следующие выводы:

1. Неравномерность выпучивания двух винтовых свай, расположенных в разных грунтовых условиях, в большей степени зависит от различий в силе смерзания материала свай с промерзающим грунтом. При увеличении силы смерзания материала одной сваи с грунтом на

Таблица 1 – Оценка неравномерного выпучивания винтовых свай

$\tau_{сн1}$, кПа	L_{II} , м	N_C , кН	N_D , кН	$N = N_C + N_D$, кН	ξ_{H1} , м	ξ_{H2} , м	Δ , см
80	2	1,82	2	3,82	0,747	0,913	2,5
	3	2,73	2	4,73	1,028	1,256	3,4
	4	3,64	2	5,64	1,309	1,599	4,4
100	2	1,82	2	3,82	0,632	0,913	4,2
	3	2,73	2	4,73	0,870	1,256	5,8
	4	3,64	2	5,64	1,070	1,599	7,4
80	2	1,82	6	7,82	0,783	0,956	2,6
	3	2,73	6	8,73	1,063	1,300	3,6
	4	3,64	6	9,64	1,344	1,643	4,5
100	2	1,82	6	7,82	0,662	0,956	4,4
	3	2,73	6	8,73	0,900	1,300	6
	4	3,64	6	9,64	1,137	1,643	7,6
80	2	1,82	10	11,82	0,818	1,000	2,7
	3	2,73	10	12,73	1,099	1,343	3,7
	4	3,64	10	13,64	1,380	1,686	4,6
100	2	1,82	10	11,82	0,692	1,000	4,6
	3	2,73	10	12,73	0,930	1,343	6,2
	4	3,64	10	13,64	1,168	1,686	7,8

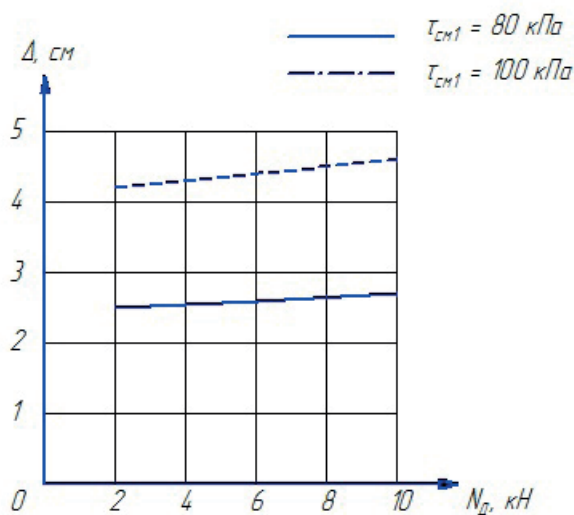


Рисунок 2 – Зависимость разности в величине выпучивания от нагрузки на сваи

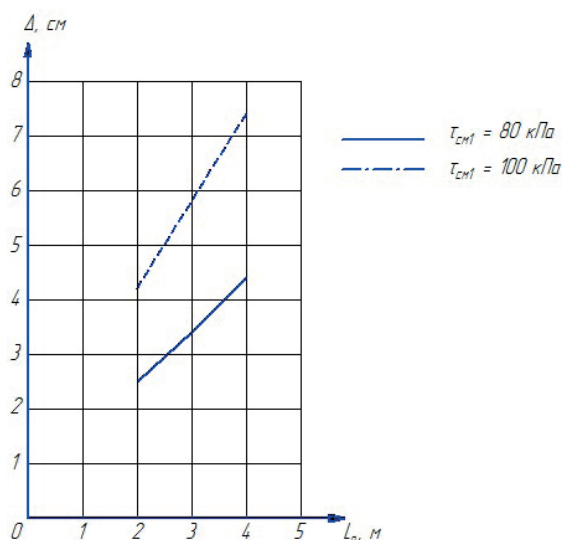


Рисунок 3 – Зависимость разности в величине выпучивания от глубины погружения свай

20 кПа неравномерность выпучивания увеличивается в пределах от 1,7 до 3,2 см в год.

2. В одинаковых грунтовых условиях величина неравномерного выпучивания имеет почти прямо пропорциональную зависимость от глубины погружения сравниваемых свай, т.е. при увеличении глубины погружения свай на 1 м неравномерность выпучивания за год возрастает примерно на 1 см.

3. Возрастание нагрузки от нефтегазопровода на сравниваемые сваи мало влияет на

величину неравномерного выпучивания. Так, при увеличении нагрузки на сваи от 2 до 10 кН неравномерность выпучивания за год увеличивается на 0,2 см.

Предлагаемые зависимости и результаты проведенных расчетов могли бы использоваться при проектировании новых и оценке деформаций уже возведенных свайных оснований трубопроводов различного назначения на территориях распространения мерзлых грунтов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов А.П. К вопросу о типовых технических решениях по основаниям и фундаментам для криолитозоны / А.П. Попов, В.И. Милованов, В.В. Жмулин, В.А. Рябов, М.А. Бережной // Инженерная геология, 2008, № 3. – С. 22 – 38.
2. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / под ред. В. А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1974. 431 с.
3. Железков В. Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства: монография – СПб.: Прага, 2004. – 150 с.
4. Марахтанов В. П. Криогенные деформации свайного основания трубопроводов / В. П. Марахтанов // Трубопроводный транспорт. – 2013. – № 5. – С. 18 – 22.

5. Свод правил: СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. – Введ. 29.12.2011. – Минрегион России, 2011. – 123 с.
6. Стандарт организации: СТО ФСК ЕЭС 56947007-29.120.95-050-2010. Нормы проектирования фундаментов из винтовых свай. – Введ. 18-06-2010. – М.: ОАО «ФСК КЭС», 2010. – 33 с.
7. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов / Н.А. Цытович – М.: Высшая школа. – 1973. – 448 с.
8. Пазиняк В. В. Экспериментальные исследования устойчивости трубопроводов на крупномасштабной грунтовой модели / В. В. Пазиняк, Н. Б. Кутвицкая, М. А. Минкин // Криосфера земли, 2006. т. X, № 1. – С. 51 – 55.

FEATURES OF CALCULATION OF UNEVEN SWELLING SCREW PILES OF OIL AND GAS PIPELINES IN FROZEN GROUND

V. N. Kuznetsova, M. V. Oryol

Abstract. The article is devoted to the problem of buckling of helical piles and deformation of the superstructure of oil and gas pipelines under the action of forces of frost heaving of soils. Analyzed the characteristics of the nonuniform buckling of the piles. Revealed and substantiated the necessity of development of methods for the assessment of uniformity of buckling of piles on the distribution of frozen soils. On the basis of this study offers the calculation formula, taking into account the helical blade of the piles, the results of the calculations, built the graphical dependence, formulates relevant conclusions.

Keywords: screw pile, soil, frost heave, oil and gas pipelines.

REFERENCES

1. Popov A.P. On the issue of standard technical solutions on the basis and foundation for the permafrost zone / A.P. Popov, V.I. Milovanov, V.V. Zhmulin, V.A. Ryabov, M.A. Berezhnaya // Engineering geology, 2008, number 3. – P. 22 – 38.
2. Basis of permafrost prognosis in geotechnical studies / ed. V.A. Kudryavtseva. – M.: MGU, 1974. 431 p.
3. Zhelezkov V.N. Screw piles in the energy and other sectors of construction: monograph / V.N. Zhelezkov – SPb.: Pragma, 2004. – 150 p.
4. Marakhtanov V.P. cryogenic deformation of pile foundation piping / V.P. Marakhtanov // Pipeline transportation. – 2013. – № 5. – P 18 – 22.
5. Rulebook: SP 25.13330.2012. Bases and foundations on permafrost. The updated edition of SNiP 2.02.04-88. – Enter. 29.12.2011. – Russian Ministry of Regional Development, 2011. – 123 p.

6. Standard Organization: STO FGC UES 56947007-29.120.95-050-2010. The rules of foundations design of screw piles. – Enter. 18-06-2010. – M.: JSC "FGC IES", 2010. – 33 p.
7. Tsytoich N.A. The mechanics of frozen soils / N.A. Tsytoich – M.: Higher School. – 1973. – 448 p.
8. Pazinyak V.V. Experimental investigation of the stability of pipelines on a large-scale ground model / V.V. Pazinyak, N.B. Kutvitskaya, M.A. Minkin // Earth Cryosphere, 2006 m. X, № 1. – P. 51 – 55.

Кузнецова Виктория Николаевна (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: dissovetsibadi@bk.ru)

Орёл Максим Владимирович (Омск, Россия) – магистрант факультета «Нефте-

газовая и строительная техника» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: max_94_17@mail.ru)

Kuznetsova Viktoria Nikolaevna (Omsk, Russia) – doctor of technical Sciences, Professor, Department “Operation and service of transport and technological machines and systems in construction” of the “SibADI” (644080, Mira, 5

prospect. Omsk, Russian Federation e-mail: dissovetsibadi@bk.ru)

Oryol Maxim Vladimirovich (Omsk, Russia) – student of the faculty “Oil-and-gas and building technology” of the “SibADI” (644080, Mira, 5 prospect, Omsk, Russian Federation, e-mail: max_94_17@mail.ru)

УДК 69.07

ОЦЕНКА ЭФФЕКТА И ЭФФЕКТИВНОСТИ УСИЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ УГОЛКОВЫМИ ОБОЙМАМИ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОБЖАТИЯ

М.В. Мосин

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В статье приведены проекты усиления типовой железобетонной колонны обоями различных типов для повышения её несущей способности. Предоставлены технико-экономические показатели усиления колонн: классической металлической обоймой; металлической обоймой с обжатием колонны и обоймой из композиционных материалов. Проведен анализ расчетов стоимости усиления железобетонных колонн. Обоснована актуальность исследований эффекта обжатия железобетонных колонн металлическими обоями.

Ключевые слова: Усиление колонн, обжатие колонн, эффект обоймы, металлическая обойма, эффективность усиления, обжатие колонн, железобетонные колонны.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с моральным и физическим износом производственного и жилого фондов существует потребность в усилении несущих конструкций зданий, и в частности железобетонных колонн. В сложных экономических условиях необходимо отдавать предпочтение наиболее эффективным и надежным конструктивным решениям [2,3].

Наиболее распространенным решением усиления железобетонных колонн является использование металлических обойм [4]. С целью повышения эффективности в данной статье предложено использовать обойму с возможностью обжатия. Для оценки эффективности такой обоймы приводится технико-экономическое сравнение с усилениями близкого конструктивного решения. Для сравнения приняты схожие по конструкции способы усиления железобетонных колонн: классическая обойма из прокатных уголков (принятая за прототип) и обойма из композиционных материалов (являющаяся обоймой обжатия).

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ОБОЙМ И ИХ ПРЕДПОСЫЛКИ

При стягивании уголков металлической обоймы возникает эффект внешне схожий с эффектом, возникающим при усилении колонн композиционными материалами, наклеенными в поперечном направлении. Однако, у способа усиления напрягаемыми тяжами имеется существенное преимущество, заключающееся в возможности создания контролируемого предварительного напряжения тяжей, что позволяет обжимать нагруженную конструкцию. Для оценки обжимного действия обоймы учитывается схема работы системы «уголковая обойма – железобетонная колонна». Колонна, обжатая металлической обоймой подвержена сложному напряженному состоянию. Напряжения обжатия образца распределены неравномерно по грани призмы, что связано с особенностью конструктивного исполнения металлической обоймы. Градиент поперечных напряжений обжатия в образце с такой обоймой схож с градиентом в образце,

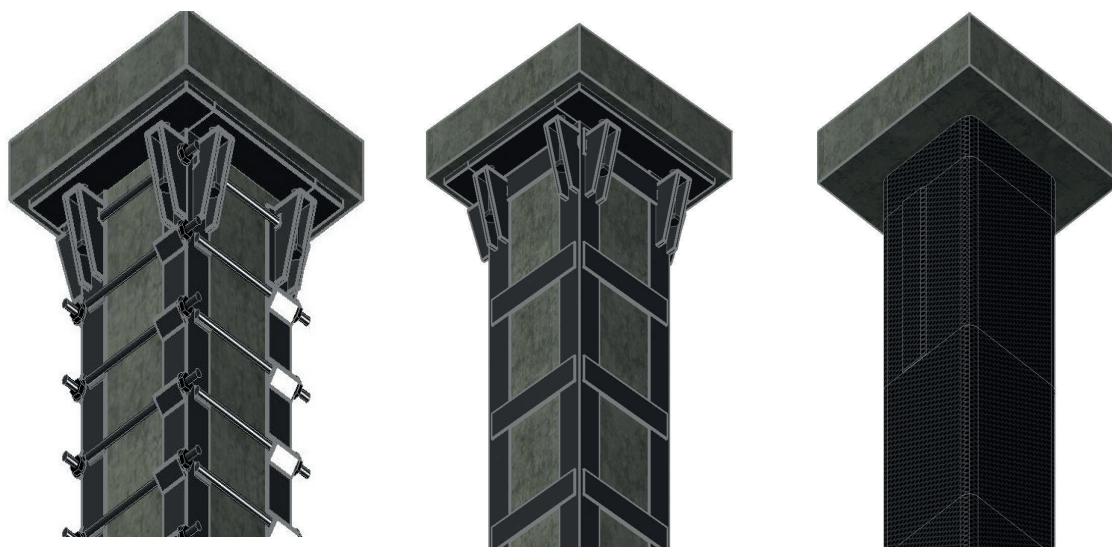


Рисунок 1 – Способы усиления железобетонных колонн:
а) металлическая обойма с возможностью обжатия колонны;
б) классическая металлическая обойма из прокатных уголков;
в) обойма из лент из композиционных материалов

обклеенным лентами из композитного материала с конкретным шагом [7]. В обоих случаях усилие обжатия колонны приложено к кромке, вследствие чего в них возникает одинаковое напряженное состояние (рис. 2).

Напряжение обжатия в поперечном сечении колонны распределяется от зоны контакта обоймы под углом φ . Угол φ характеризует угол внутреннего трения в бетоне. Наиболее характерное значение φ для тяжелого бетона равняется 37° , для расчетов угол φ принимается равным 45° . Следовательно, полная площадь области сечения не входящей в активную зону вычисляется по данной формуле [9]:

$$A_{bu} = \frac{b'^2 + h'^2}{3}$$

где b' и h' – размеры частей колонн, не охваченных усилением.

При расчете классической металлической обоймы учитывается восприятие вертикальной нагрузки уголками обоймы, а проектирование производится по нормам [1]. При усилении обоймой из композиционного материала учитывается эффект усиления от ограничения деформированию в поперечном направлении, а проектирование этих обойм производится по СП 164.1325800.2014. Учитывая, что воздействие на колонну от обжатия металлической обоймой аналогично воздействию от обоймы из композитных материалов, далее при

определении эффекта поперечного обжатия металлической обоймой поперечными связями из шпилек будет использована методика, предназначенная для усиления колонн из композиционных материалов. Стоит отметить, что подобный расчет является приближенным, а для более точного и надежного проектирования необходимо уточнение методики, учитывающей реальное напряженное состояние колонны при нагружении в условиях поперечного обжатия и элементов обоймы, воспринимающих вертикальную нагрузку и отпор обжимаемого бетона.

В качестве обоймы использована лента из углеродного волокна толщиной 0,293мм – устанавливается по всей высоте колонны в 3 слоя с расположением волокон перпендикулярным продольной оси колонны. Полосы холста с расположением волокон вдоль оси колонны наклеиваются в верхней части колонны в два слоя.

$$R_{ft} = \frac{C_E \cdot R_f}{\gamma_f} = \frac{0,9 \cdot 3225}{1,1} = 2638,6 \text{ кгс/см}^2.$$

Расчетные значения модуля упругости при растяжении E_{ft} принимаются равными их нормативным значениям.

где γ_f – коэффициента надежности, равный 1,1 при расчетах по первой группе предельных состояний;

C_E – коэффициент условия работы, равный 0,9, учитывающий влияние окружающей среды;

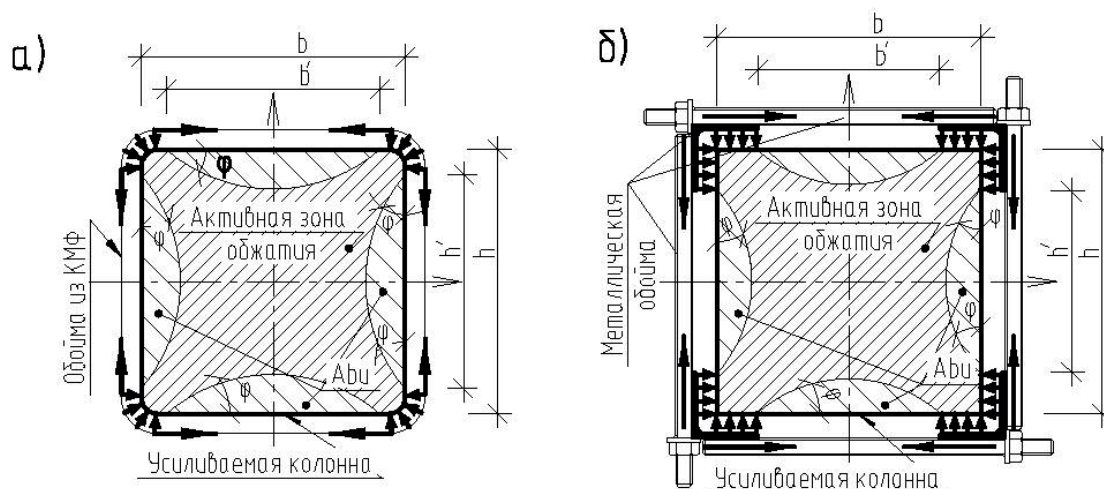


Рисунок 2 – Схема обжатия поперечного сечения:
а) при усилении обоймой из композиционных материалов; б) при обжатии металлической обоймой

R_f – максимальная прочность на растяжение композита.

$$R_f = 0,0038 K_1 R_p$$

$$K_1 = 2 \cdot t_f \frac{b + h}{b \cdot h} = 2 \cdot 3 \cdot 0,0293 \text{ см} \cdot$$

$$\cdot \frac{40 \text{ см} + 40 \text{ см}}{40 \text{ см} \cdot 40 \text{ см}} = 0,00879$$

Прочность бетона усиленной колонны определяется по формуле:

$$R_{b_{hoop}} = R_b \left(2,254 \sqrt{1 + 558,18 \frac{R_l}{R_b}} - 140,6 \frac{R_l}{R_b} - 1,254 \right)$$

$$R_{b_{hoop}} = 73,1 \text{ кгс/см}^2 \cdot \left(2,254 \sqrt{1 + 558,18 \frac{0,0881 \text{ кгс/см}^2}{73,1 \text{ кгс/см}^2}} - 140,6 \frac{0,0881 \text{ кгс/см}^2}{73,1 \text{ кгс/см}^2} - 1,254 \right) =$$

$$= 109 \text{ кгс/см}^2$$

R_b – расчетное значение сопротивления бетона сжатию для предельных состояний первой группы.

По аналогичной методике определяем несущую прочность бетона обжатой колонны, при этом $R_f = R_s$; Вместо t_f определяется приведенная толщина металлических тяжей, равная отношению площади поперечного сечения к шагу расположения тяжей. Для тяжей диаметром 20 мм, установленных с шагом 200 мм приведенная толщина составляет $t_f = 0,157 \text{ мм}$.

При расчете несущей способности колонны вместо R_b подставляем значение .

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ

Для сравнения произведен расчет усиления железобетонной колонны и приведена экономическая оценка эффективности работ. Для усиления принята колонна сечением 40х40 см, высотой 3,5 м. Класс бетона по прочности В15. Рабочее армирование колонны представляет собой четы-

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели конструкций обойм усиления

Тип обоймы	Обойма из композитных материалов наклеенных в поперечном направлении	Обойма из прокатных металлических уголков соединенных металлическими пластинами	Обойма из прокатных металлических уголков соединенных металлическими шпильками
Параметры конструкции обоймы	Толщина слоя $t_f = 0,293\text{мм}$, количество слоев – 3	Уголок-90х90х6; Пластины 380х80х6 с шагом 400мм	Уголок-90х90х6; Шпильки М24 с шагом 200мм
Масса усиления, кгс	32,144	173,84	211,64
Полные габариты колонны после усиления, мм х мм	410х410	460х460мм	520х520мм
Несущая способность после усиления, тс.	212,2	258,87	342,3
Увеличение несущей способности, тс.	53,2	99,87	183,3
Затраты на производство работ по усилению одной колонны, тыс. руб.	90	17,18	18,9
Удельная величина увеличения несущей способности, тс./тыс. руб.	0,59	5,81	9,70

ре стержня диаметром 16мм из стали класса А-500, установленные в углах конструкции. Поперечные хомуты выполнены из стержней Ø8мм класса В-500, установленных с шагом 350мм. Несущая способность неусиленной колонны составляет 159 тонна-силы.

Для усиления данной колонны были спроектированы обоймы по принципам описанным выше. Результаты проектирования и технико-экономические показатели для спроектированных конструкций приведены в табл. 1.

В качестве усиления колонны запроектирована обойма из углеволоконных лент толщиной 0,293мм. Ленты усиления устанавливаются по всей высоте колонны в 3 слоя с ориентацией волокон в направлении перпендикулярным продольной оси колонны. Наклейка лент производится на очищенную выровненную поверхность колонны, кромки которой скруглены под радиусом не менее 30мм. Это усиление увеличивает прочность бетона с 85,68 кгс/см² до 122,47 кгс/см², а несущая способность колонны увеличивается до 212,2 тс (на 34%).

Классическая металлическая обойма усиления этой же колонны запроектирована из прокатных уголков 90х90х6, установленных в углах сечения. В качестве соединительных

планок используются металлические пластины с размерами 380х80х6мм и установленные с шагом 400мм. Несущая способность колонны усиленной таким способом составляет 258,87 тс, что на 63% больше изначальной.

Металлическая обойма обжата изготовлена аналогично классической из уголков 90х90х6, для объединения которых используются тяжи из металлических шпилек Ø20мм, установленных с шагом 200мм. Расчетная прочность бетона на сжатие после обжаты обоймой составляет – 143,67кгс/см² (вместо 85,68 кгс/см²). Таким образом несущая способность железобетонной колонны усиленной уголкового обоймой обжаты увеличивается на 115% и составляет – 342,3 тс.

Для оценки эффективности конструктивных решений введена величина удельных затрат на единицу увеличения несущей способности, равной отношению стоимости на производство работ по усилению к величине приращения несущей способности. При анализе сметных расчетов на расходы материалов и производство работ выявлено, что наибольшей эффективностью обладает металлическая обойма с поперечными тяжами в виде шпилек. Эти результаты объясняются тем, что эта обойма

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 2 – Ведомость объемов работ при производстве обоймы из КМФ

№	Наименование работ	Материалы	Ед. изм.	Кол-во
1	Очистка поверхности колонны от пыли и грязи		м2	5,6
2	Стесывание неровностей		м2	5,6
3	Снятие поверхностного слоя бетона		м2	5,6
4	Разметка поверхности колонны под скругление углов		п.м.	14
5	Скругление углов (радиус 3.0см)		п.м.	14
6	Обеспыливание поверхности		м2	5,6
7	Заполнение ремсоставом выбоин	Ремонтный состав Emaco Nanocreate R4	кг	28,6
8	Снятие ремсостава под габариты колонны		м2	5,6
9	Обеспыливание поверхности		м2	5,6
10	Обезжиривание поверхности		м2	5,6
11	Разметка поверхности под наклейку холста		м2	5,6
12	Нанесение праймера	Праймер Mbrace Primer	кг	2,688
13	Наклейка холста	Холст Mbrace FIB CF 230/4900.530g/5	м2	16,8
14	Обсыпка кварцевым песком		м2	5,6
15	Нанесение огнезащитного покрытия	Огнезащитный состав	кг	61,32

Таблица 3 – Ведомость объемов работ при производстве обжимных обойм

№	Наименование работ	Материалы	Ед. изм.	Кол-во
1	Изготовление обоймы на заводе	Мет. Профиль	кг	136,4
2	Очистка поверхности колонны от пыли и грязи		м2	5,6
3	Стесывание неровностей		м2	2,1
4	Обеспыливание поверхности		м2	5,6
5	Нанесение выравнивающего раствора	Ремонтный состав Emaco Nanocreate R4	кг	10
6	Установка обоймы	Мет. Профиль	кг	136,4
7	Предварительная затяжка		шт	76
8	Затяжка шпилек до проектной величины после вытвердивания раствора		шт	76
9	Выполнение огнезащитной обработки	Огнезащитный состав	кг	120

Таблица 4 – Ведомость объемов работ при производстве классических обойм

№	Наименование работ	Материалы	Ед. изм.	Кол-во
1	Изготовление элементов обоймы на заводе	Мет. Профиль	кг	173,9
2	Очистка поверхности колонны от пыли и грязи		м2	5,6
3	Стесывание неровностей		м2	2,1
4	Обеспыливание поверхности		м2	5,6
5	Нанесение выравнивающего раствора	Ремонтный состав Emaco Nanocreate R4	кг	10
6	Установка уголков обоймы	Мет. Профиль	кг	173,9
7	Нагрев соединительных пластин	Лист 380x80x6	шт	40
8	Приварка соединительных пластин	Ремонтный состав Emaco Nanocreate R4	кг	41
9	Выполнение огнезащитной обработки	Огнезащитный состав	кг	120

помимо восприятия вертикальной нагрузки еще и ограничивает поперечные деформации железобетонной колонны, то есть имеет функцию аналогичную композитной обойме. Рабочими элементами при таком принципе действия конструкции являются поперечные тяжи (соединительные шпильки), они воспринимают поперечные деформации конструкции [8]. Таким образом, максимально задействованы все элементы металлической обоймы, что позволяет более рационально использовать конструкцию, а, следовательно, повышает эффективность использования обоймы.[9].

Помимо материальных затрат необходимо учитывать остальные также немаловажные факторы. Очень важно учитывать время, затраченное на производство работ на строительной площадке, универсальность решения и возможность усиления без перерыва эксплуатации здания.

Усиление углеволокном требует много времени на подготовительные работы такие как выравнивание поверхности и скругление кромок колонн, а также возникает потребность времени на отверждение клеящих смол. Подготовительные процессы сопровождаются большим выделением пыли и относятся к достаточно трудоемким, что затрудняет их использование во время эксплуатации здания [11]. Для усиления металлической обоймой к поверхности колонны предъявляются меньшие требования: достаточно выровнять и очистить кромки колонны, а затем через свежий слой раствора можно устанавливать уголки. Но для классического усиления колонн классическими обоймами перед сваркой соединительных планок их требуется нагревать, что существенно увеличивает трудоемкость монтажа. Использование шпилек (в обоймах обжатия) позволяет избежать трудоемких процессов по разогреву, а также исключает негативное термическое воздействие на колонну[10].

Использование обойм из металлических уголков является достаточно универсальным способом усиления, в отличие от композитной обоймы она может быть использована для усиления внецентренно сжатых колонн как с малыми, так и с большими эксцентриситетами. Принцип действия обоймы, непосредственно воспринимающей вертикальную нагрузку, прост и не требует дополнительного изучения, данное конструктивное решение имеет вековой опыт, что является залогом безопасной и надежной эксплуатации [9]. Производство работ по усилению сжатых элементов металлическими обоймами может произво-

диться в широком температурном диапазоне окружающей среды, что позволяет использовать данный метод в любое время года, хотя при использовании композитных обойм для высыхания эпоксидного клея необходима температура не ниже +10°C. Если рассматривать долговечность конструкции, то можно сказать, что металл является материалом со стабильными характеристиками, не меняющимися на протяжении эксплуатации, а реологические свойства материалов, используемых для композитных конструкций до конца не изучены, но при этом известно, что эпоксидные смолы с течением времени становятся хрупкими и их прочность снижается.

Металлические обоймы обжатия являются эффективным и надежным способом усиления колонн, но у них также есть некоторые недостатки, в том числе нарушение внешнего вида, отсутствие гладкой поверхности конструкции и некоторое увеличение габаритов колонны, что в свою очередь может ограничить область её применения. Для решения проблем, связанных с эстетичностью усиленных колонн предлагается их оштукатуривать цементно-песчаным раствором или обшивать гипсокартонными листами, что позволило бы избежать дополнительных затрат на огнезащиту [6].

ВЫВОД

Способ усиления обжатием актуален, однако в существующих Нормах нет указаний по учету эффекта обжатия колонн металлическими обоймами, что не позволяет использовать подобные обоймы в строительной практике. Для полного понимания напряженного состояния системы «металлическая обойма – железобетонная колонна» и определения требуемых параметров элементов конструкции усиления требуется подробней изучить вопросы, связанные с определением усилий, возникающих в поперечных тяжах и уголках обойм. Учитывая, что при использовании подобных конструкций возникает возможность контролируемого предварительного обжатия, целесообразно рассмотреть его влияние на эффект усиления, и определить наиболее оптимальные усилия преднатяжения шпилек.

Опираясь на результаты сравнительных расчетов для различных конструкций обойм усиления, и учитывая высокую эффективность металлических обойм обжатия, можно сделать вывод о том, что более подробное изучение вопросов, связанных с определением

эффекта от сдерживания поперечных деформаций подобными обоймами, а также разработка методик по их проектированию являются актуальными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 164.1325800.2014 Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования
2. Байков В.Н., Горбатов С.В., Дмитриев З.А. Построение зависимости между напряжениями и: деформациями сжатого бетона в системе нормируемых показателей / Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 1976. №6. С. 15-18.
3. Бондаренко С.В., Санжаровский Р.С. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий. М.: Стройиздат. 1990. 352 с.
4. Гвоздев А.А. Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. Сущность метода и его обоснование. М.: Госстройиздат. 1949. 280 с
5. Гроздов В.Т. О прочности и деформативности колонн, усиленных обоймами // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1989. №3. С. 8-10.
6. Поляков, С.В. Прочность колонн каркасных зданий при сейсмических нагрузках / С.В. Поляков, Ю.С. Кульгин, И.З. Бацанадзе, А.С.

Залесов // Бетон и железобетон. 1982. – № 11. – С. 12-13.

7. Мосин, М. В. Компьютерное моделирование трехосного напряженного состояния сжатой бетонной призмы / Мосин, М. В. [идр.] // Техника и технологии строительства. №4 (8). С. 91-97.

8. Ставров, Г.Н. Расчет центрально сжатых железобетонных элементов спиральным и кольцевым армированием / Г.Н. Ставров и др. // Бетон и железобетон. 1993. – № 2. – С. 31-32.

9. Тамразян, А.Г. Совершенствование методов расчета железобетонных конструкций на основе структурной теории деформирования бетона [текст] // Дис. ... докт. техн. наук. – М.: МГСУ, 1998. – 395 с.

10. Тонких, Г.П. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений / Г.П. Тонких, В.С. Плевков, А.И. Мальганов, О.В. Кабанцев // Пособие под ред. Плевкова В.С. и Тонких Г.П., 2-е изд., доп. – Томск: Изд-во «Печатная мануфактура», 2008. – 205 с.

11. Шилин, А. А. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами./ А. А. Шилин [идр.] – Москва: Стройиздат, 2007. -184с

12. Яшин, А.В. О некоторых деформативных особенностях бетона при сжатии [текст] / Теория железобетона.: сб. науч. тр. // М.: Стройиздат, 1972. – С. 131-137.

EVALUATION OF THE EFFECT AND THE EFFICIENCY GAIN ANGLED METAL COLLARS STRENGTHENING OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH COMPRESSION

M.V. Mosin

Abstract. Results constructed enhancing various types to enhance the ability of non-shear typical reinforced concrete columns. Results feasibility-exponent is in the amplification string classical metal clip, metal clip with compression columns and yoke made of composite materials. The analysis estimated the cost calculations races-production gain concrete columns. The urgency of research the effect of compression of reinforced concrete columns with metal collars.

Keywords: Reinforcement of columns, compression columns effect clips, metal clip, the efficiency gain, compression columns, concrete columns.

REFERENCES

1. SP 164.1325800.2014 Usilenie zhelezo-betonnykh konstrukcij kompozitnymi materialami. Pravila proektirovaniya
2. Bajkov V.N., Gorbato V.C.B., Dmitriev Z.A. Building a relationship between stress and: concrete compressive strain in the system of stan-

darized indicators. Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo i arhitektura. 1976. №6 p. 15-18.

3. Bondarenko C.B., Sanzharovskij P.C. Strengthening of reinforced concrete structures under reconstruction. Moscow. : Strojizdat. 1990. 352 p.

4. Gvozdev A.A. Calculation of bearing capacity of structures by the method of limit equilibrium.

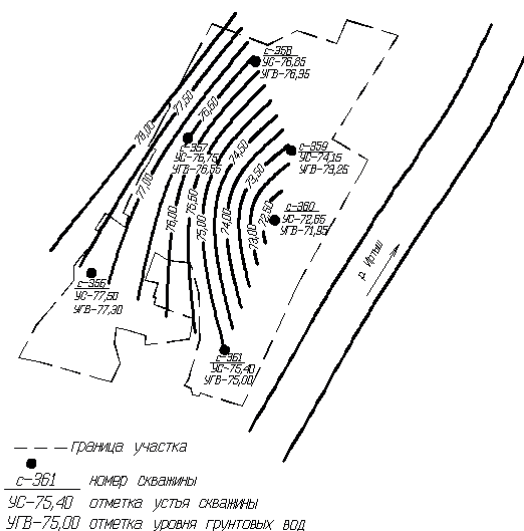


Рисунок 1 – Карта гидроизогипс территории застройки по данным изысканий

за собой неправильно подобранный диаметр водоотводящей дрены, что в свою очередь приводит либо к затоплению системы, когда приток воды значительно больше пропускной способности трубопровода, либо к ее заиливанию, когда скорости течения стоков меньше допустимых значений.

Целью данной статьи является выявить разницу между проектными значениями притока воды в дренаж, полученных путем аналитических расчетов, и фактическими значениями, определенными путем замеров.

ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования работы дренажной системы выбран участок, расположенный на левом берегу реки Иртыш. Территория в административном отношении расположена в Кировском Административном округе города Омска.

На участке проектируется строительство восьми десятиэтажных и четырех шестнадцатиэтажных домов, а также детский сад и многоярусный гараж. Общая площадь участка составляет $\approx 11,017$ га.

Территория входит в пределы высокой поймы реки Иртыш. Рельеф неровный, с уклоном в сторону реки.

Инженерно-геологические изыскания на территории застройки жилого микрорайона производились ООО «ГИТИЗ» в период с 30.05.2012 по 08.06.2012 г.

На участке изыскания было пробурено 6 скважин с целью выяснения геологического строения и гидрогеологических условий

площадки, определения расчётных значений физико-механических характеристик грунтов, коррозионной агрессивности сред, а также получения исходных данных для расчета несущей способности свай. Согласно техническому отчету об инженерно-геологических изысканиях подземные воды типа поровых безнапорных (грунтовых) вскрыты на глубине 0,2...0,9 м. Они приурочены к четвертичным аллювиальным мягкопластинчатым суглинкам. Относительным водоупором служат полутвердые аллювиальные глины четвертичного возраста, вскрытые на глубине 1,5...5,5 м.

Тип режима грунтовых вод – приречный. Питание подземных вод инфильтрационное и водами реки Иртыш, в связи с чем их уровень подвержен сезонным колебаниям. Коэффициент фильтрации водовмещающих мягкопластинчатых суглинков составляет 0,13 м/сут.

В настоящее время на территории участка построено два десятиэтажных дома (жилой дом №1 и №3), а также два дома находятся на стадии монтажа.

ОБСЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛАСТОВОГО ДРЕНАЖА

Для представления общей картины о грунтовых водах данной территории по установившемуся уровню воды в скважинах методом интерполяции была получена карта гидроизогипс, представленная на рис. 1.

Территория строительства постоянно подтоплена грунтовыми водами, препятствующими строительству жилых домов. При проектировании инженерной защиты территории от затопления и подтопления необходимо выполнять требования СНиП 2.06.15-85 [2], СП 103.13330.2012 [3], а также СНиП 2.06.03-85 [4].

Застройщиком данного микрорайона является АО «ЗСЖБ №6». В качестве мероприятий по снижению уровня грунтовых вод проектировщиками организации были приняты предупредительные и защитные методы согласно [2]. Предупредительные включают в себя вертикальную планировку существующего рельефа, устройство дождевой канализации для улучшения поверхностного стока, а также гидроизоляция подземных частей конструкций зданий. В качестве защитных методов принято устройство локального пластового дренажа в виде фильтрующей постели в сочетании с линейной дренами. Пластовый дренаж запроектирован под каждым жилым домом, со сбросом дренажных вод в проектируемую ливневую

канализацию микрорайона. Пластовый дренаж является самым надежным из всех типов дренажей [5].

В зависимости от очередности строительства домов были проведены геологические изыскания под каждым домом.

В результате геологических изысканий, которые проводились на территории строительства жилого дома №1 с 31.01.2013 г. по 15.02.2013 г., было пробурено четыре скважины. Максимальный уровень грунтовых вод, который установился в скважине на период изысканий, составил 76,5 метра в абсолютных отметках. Максимальный уровень воды устанавливается в мае, июне, минимальный – в сентябре, численные значения которого соответственно равны 77,2 и 76,2 метра.

На территории строительства жилого дома №3 изыскания проводились в период с 21.08.2012 г. по 30.08.2012 г. Было пробурено три скважины. Максимальный уровень грунтовых вод, который установился в скважине на период изысканий, составил 75,4 метра в абсолютных отметках. Максимальный уровень воды устанавливается в мае, июне, минимальный – в сентябре, численные значения которого соответственно равны 76,4 и 75,4 метра.

Ситуационная схема расположения домов приведена на рис. 2. Расстояние от жилого дома №3 до реки Иртыш составляет около 200 м.

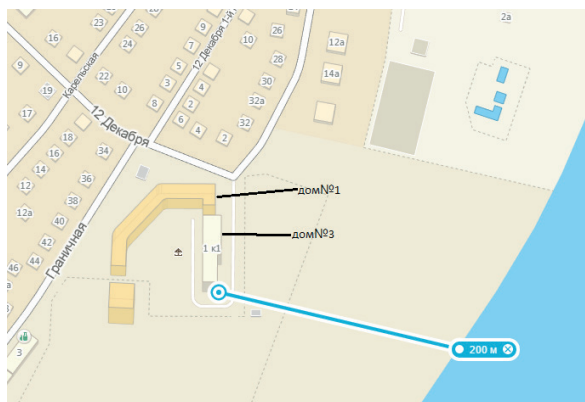


Рисунок 2 – Ситуационная схема расположения жилых домов №1 и №3

На основании вышеприведенных данных проектировщиками были выполнены гидрогеологические расчеты и запроектирован пластовый дренаж с линейной дренажной трубой под каждым домом. Пластовый дренаж представляет собой двухслойную постель, верхний водопроницаемый слой которой выполнен из щебня крупностью 3-20 мм, а нижний слой – песок крупнозернистый фракцией 1-2 мм. Трубчатые

дрены сопрягаются с дренажной постелью пластового дренажа несовершенного типа и укладываются на дренажную обсыпку. Трубчатая дренажная труба прокладывается под жилым домом. Проектные схемы пластового дренажа приведены на рисунке 3. На поворотах дрены установлены смотровые колодцы ДК1... ДК11. Сброс дренажных вод осуществляется в систему ливневой канализации (колодцы ЛК1 и ЛК2), что не противоречит требованию СНиП [2].

Наиболее подробно методы расчета прогноза подтопления грунтовыми водами застраиваемых и застроенных территорий, необходимого для проектирования предупредительных и защитных мероприятий, представлены в справочном пособии к СНиП [6]. При проектировании пластового дренажа проектировщики пользуются также типовой серией 8.005-1 «Конструкции пластовых дренажей» [7] и «Дренажи для городских территорий и защиты подземных сооружений» [8].

Для сравнения значений притока воды в дренаж в сезон максимального (май) и минимального (сентябрь) уровня грунтовых вод, а также в момент проведения изысканий, нами была использована аналитическая формула, приведенная в [7]:

$$Q = \pi k S \cdot \left(\frac{S}{\ln \frac{r_d}{r}} + \frac{2 \cdot r}{F_{пл.др.}} \right), \frac{м^3}{сут}, \quad (1)$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут; S – понижение уровня подземных вод, м; r_d – радиус депрессии дренажа, м; r – приведенный радиус дренажа, м; $F_{пл.др.}$ – показатель гидравлического сопротивления.

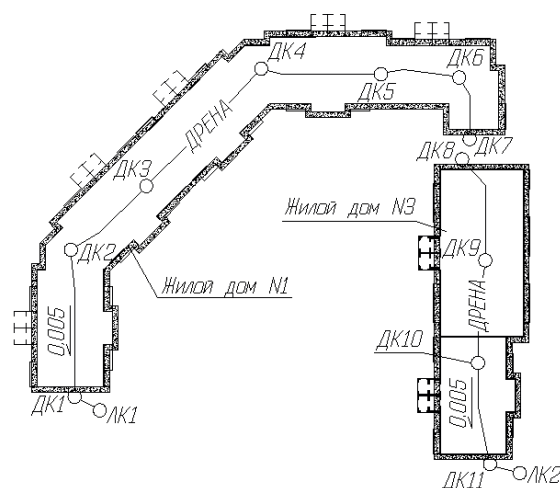


Рисунок 3 – Проектная схема пластового дренажа жилых домов №1 и №3

Таблица 1 – Сравнение расчетного расхода воды линейной дрены

Показатель	Расход дрены, л/с (Жилой дом №1)	Расход дрены, л/с (Жилой дом №3)
$q_{\text{фактический}}^{\text{январь}}$ $q_{\text{расчетный}}^{\text{январь}}$	0,1047 1,108	- 0,5334
$q_{\text{фактический}}^{\text{май}}$ $q_{\text{расчетный}}^{\text{май}}$	0,2608 2,7778	0,0355 1,9511
$q_{\text{фактический}}^{\text{сентябрь}}$ $q_{\text{расчетный}}^{\text{сентябрь}}$	0,2083 0,3865	0,0105 -
$q_{\text{проектный}}$	0,58	0,22

Для получения фактических значений расходов нами было проведено обследование работы пластового дренажа жилых домов, которое заключалось в измерении расходов линейной собирательной дрены в колодцах ДК1 и ДК11 (рис. 3). Замеры производились с декабря 2014 года по ноябрь 2015-го. В колодце ДК1 расход наблюдался в течение всего измерительного периода, в колодце ДК11 – начиная с апреля 2015 года. Полученные замеры были обработаны и представлены в данной статье в виде графика изменения расхода линейной дрены в течение года.

Максимальный расход наблюдается в период с мая по июнь. Численные значения равны 0,2608 (дом №1) и 0,0355 (дом №3) л/с. Разница между значениями расходов дрены под домом №1 и №3 обусловлена местоположением относительно реки Иртыш, а также влиянием дренажа под домом №1 на работу дренажа под домом №3. Анализируя график и полученную карту гидроизогипс, можно сделать вывод, что грунтовые воды питают реку.

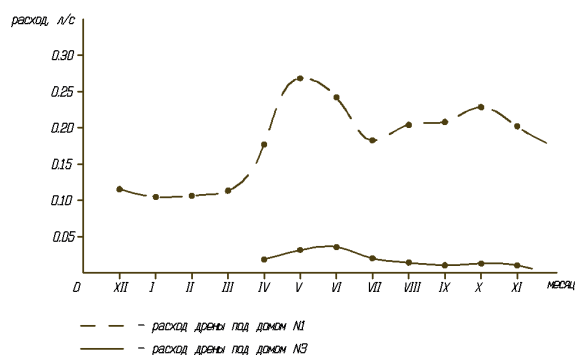


Рисунок 4 – График изменения расхода линейной дрены

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Имея данные натурных исследований работы дренажа жилых домов, результаты ана-

литических расчетов, а также проектные значения расходов воды, можно провести анализ разницы между этими значениями. Результаты сравнения приведены в табл. 1:

Анализируя приведенную таблицу, можно сделать вывод, что фактические значения расходов отличаются от проектных и от значений, полученных путем аналитических расчетов. Процент погрешности проектного значения относительно фактического составляет 55% для дома №1 и 84% для дома №3. Процент погрешности расчетного значения (определенного по формуле (1)) относительно фактического (май) составляет 91% для дома №1 и 98% для дома №3.

ВЫВОД

Разброс значений существенен и не допустим в практике проектирования. Методику расчета необходимо совершенствовать, поскольку ошибки в расчетах могут повлечь некорректное проектирование дренажа. А от эффективности его работы зависит безопасность конструкций зданий и сооружений, надежность функционирования инженерных коммуникаций, а также санитарно-гигиеническое состояние территории. В качестве совершенствования проектирования нами предложено вместо аналитических формул использовать моделирование дренажных сооружений методом электронных таблиц, позволяющее учесть те или иные особенности территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антолик О. М. Проблемы проектирования дренажных сооружений / О. М. Антолик, В. И. Сологаев // ВЕСТНИК Омского Государственного Аграрного Университета – 2014. – №1 (13). – С. 49-51.
2. СНиП 2.06.15-85 Инженерная защи-

та территории от затопления и подтопления: Введ. 01.07.1986. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 20 с.

3. СП 103.13330.2012 Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод. Актуализированная редакция СНиП 2.06.14-85: Введ. 01.01.2013; Взамен СНиП 2.06.14-85. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 70 с.

4. СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения: Введ. 01.07.1986. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 47 с.

5. Сологаев В. И. Фильтрационные расчеты и компьютерное моделирование при защите от подтопления в городском строительстве: Монография / В. И. Сологаев. – Омск: Изд-во

СибАДИ, 2002. – 416 с.

6. Прогнозы подтопления и расчёт дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях: Справочное пособие к СНиП / А. Ж. Муфтахов и др. – М.: Стройиздат, 1991. – 272 с.

7. Типовые конструкции. Изделия и узлы зданий и сооружений. Серия 8.005-1. Конструкции пластовых дренажей. Выпуск 0. Материалы для проектирования. – М.: Фондментпроект, 1986. – 40 с.

8. Дренажи для осушения городских территорий и защиты подземных сооружений. Альбом №84. – М.: МОСИНЖПРОЕКТ, 1963. – 113 с.

COMPARISON OF DATA ON NATURAL DRAINAGE CONSTRUCTION SURVEY WITH THE EXAMPLE ANALYTICAL CALCULATIONS NEWLY BUILT NEIGHBORHOOD IN THE CITY OF OMSK

O.M. Rusanova

Abstract. *The inaccuracy of analytical formulas used in the calculations of drainage systems entails the error in the determination of the unknown quantities, such as the radius of the drainage depression and water flow to the drainage facilities. In this article, a comparison of the values of the water inflow to the reservoir drainage, obtained by calculation, the actual performance of the drainage system. It is shown how essential difference between the estimated and actual consumption value. The object of the research is bedded drainage under the residential buildings under construction in the district of Omsk, as well as the design values of linear drains expenses.*

Keywords: *Formation drainage, flow, groundwater.*

REFERENCES

1. Antolik O.M., Sologayev V.I. Problems of designing drainage structures. VESTNIK Omskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta, 2014, no1 (13), pp. 49-51.

2. SNiP 2.06.15-85 Injenernaja zashita territorii ot zatopenija i podtoplenija [CNR 2.06.15-85 Engineering protection of territories against flooding and waterlogging]. Moscow, CITP Gosstroja SSSR, 1986. 20 p.

3. SP 103.13330.2012 Zashita gornyh vyrabotok ot podzemnyh i poverhnostnyh vod. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.06.14-85 [SR Protection of mining on groundwater and surface water. The updated edition of CNR 2.06.14-85]. Moscow, FAY «FCS», 2012. 70 p.

4. SNiP 2.06.03-85 Meliorativnye sistemy i sooruzhenija [CNR 2.06.03-85 Drainage systems and facilities]. Moscow, CITP Gosstroja SSSR, 1986. 47 p.

5. Sologayev V.I. Filtracionnyie raschety i komputernoe modelirovanie pri zashite ot podtoplenija v gorodskom stroitelstve [Filtration calculations and computer modeling in the protection against flooding in urban construction]. Omsk, SibADI, 2002. 416 p.

6. Muftahov A.J., Korinchenko I.V., Grigoreva N.M., Sologayev V.I., Shevchik A.P. Prognozy podtoplenija i raschet drenajnyh system na zastraivajemyh i zastroyennyh territorijah: Spravochnoe posobie k SNiP [The forecasts of flooding and calculation of drainage systems in built-up and built-up areas: handbook to the CNR]. Moscow, Stroiizdat, 1991. 272 p.

7. Tipovye konstrukcii. Izdelija i uzly zdaniij i sooruzhenij. Serija 8.005-1. Konstrukcii plastovyh drenazchei. Vipusk 0. Materialy dlja proektirovanija [Typical designs. Products and components of buildings. Series 8.005-1. Construction of reservoir drainage. Issue 0. Materials for Design]. Moscow, Fundamentproekt, 1986. 40 p.

8. Drenajy dlja osysheniya gorodskih territorii I zashity podzemnykh sooruzhenii. Albom №84 [Drains for draining urban areas and protection of underground facilities. Album №84]. Moscow, MOSINJPROEKT, 1963. 113 p.

Русанова Ольга Михайловна (Омск, Россия) – аспирант кафедры Природообустройства, водопользования и охраны водных ресурсов ФГБОУ ВО ОмГАУ им. П.А. Столыпина

(644008, г. Омск, ул. Физкультурная, 2, e-mail: 2535999@mail.ru).

Olga M. Rusanova (Omsk, Russian Federation) – graduate student of the department of environmental engineering, water use and protection of water resources, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (644008, Fizkulturnaja street, 2, Omsk, Russian Federation. e-mail: 2535999@mail.ru).

УДК 69.034.96

О МОДЕЛИРОВАНИИ НАПОРНО-БЕЗНАПОРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ В ГОРОДСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В.И. Сологачев

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В статье рассмотрена методология моделирования напорно-безднапорной фильтрации воды в городском строительстве. Особенностью такого процесса является наличие ползущей границы свободной поверхности воды в трещиновато-пористой среде, если рассматривать реальные нестационарные течения в зависимости от времени. Рассмотрен простейший одномерный случай напорно-безднапорной фильтрации воды. Изложена гипотеза теории фильтрации, которая позволяет вывести её на новый уровень представлений о движении воды в трещиновато-пористых средах с напорно-безднапорными течениями. В отличие от традиционной точки зрения, давление при нестационарной фильтрации на отрывающейся от водоупорной кровли свободной поверхности воды некоторое время остаётся в состоянии вакуума, то есть ниже атмосферного. В качестве инструмента моделирования предложен авторский метод электронных таблиц. Движение ползущей границы предложено реализовывать с помощью условного оператора программирования. Указаны направления дальнейшего развития предложенной методологии.

Ключевые слова: теория фильтрации, напорно-безнапорные течения, подтопление.

ВВЕДЕНИЕ

Теория фильтрации подразделяется на гидравлическую и гидродинамическую [1, 2]. Связь гидродинамической и гидравлической теорий фильтрации и способы их линеаризации при исследовании вопросов подтопления территорий грунтовыми водами аналитическими методами исследовал Н.П. Куранов [3]. Гидравлическая теория фильтрации воды, по терминологии П.Я. Полубариновой-Кочиной [4], подразумевает осреднение потока воды по высоте. При этом движение воды происходит по порам и трещинам, подчиняясь закону Дарси [5]. Гидравлическая теория фильтрации воды находит широкое применение в гидрогеологии, водоснабжении, при защите от подтопления городов и сельскохозяйственных

территорий [6]. Её основной принцип состоит в том, что движение подземных вод упрощают до одномерного. Практика защиты от подтопления показывает, что детерминированный подход доминирует среди инженеров и гидрогеологов. Толщину фильтрационного потока гидрогеологи обычно называют мощностью водонасыщенного слоя, что не имеет ничего общего с понятием мощности, принятым в физике. Мощность фильтрационного потока – это толщина или высота слоя грунта или искусственного трещиновато-пористого материала, считая от водоупорной подошвы внизу этого слоя до верхней высотной отметки слоя с водой. В зависимости от этой верхней отметки поток может быть напорным или безнапорным. В первом случае, если на отметке верха водонасыщенного слоя давление в воде

превышает атмосферное, то такой поток называют напорным, то есть в любой его точке обладающим избыточным (манометрическим) давлением. Во втором случае, если давление в воде на этой отметке равно атмосферному, то поток называют безнапорным или со свободной поверхностью. Здесь важно отметить, что свободная поверхность воды в фильтрующей среде дополнительно имеет капиллярную зону, где давление в воде обладает вакуумом, то есть меньше атмосферного. Через эту капиллярную зону также может происходить движение воды, но в гораздо меньшем количестве. Практически важные зависимости движения воды в капиллярной зоне были получены в нашей стране и за рубежом. В отечественной практике широкую известность получила формула С.Ф. Аверьянова [7]. За рубежом чаще используют зависимость, которую получил Ван Генухтен [8].

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПОРНО-БЕЗНАПОРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ

Рассмотрим методологию моделирования напорно-безнапорной фильтрации воды в городском строительстве. Наличие таких потоков в зданиях, сооружениях и на территориях застройки можно перечислить в следующих примерах: основания и фундаменты зданий, дорожные слои, конструкции стен и кровель, геологические напластования сложного генезиса с чередованием проницаемых и водоупорных слоёв, например, песчаных и глинистых и т.д.

Методологию следует начать с рассмотрения простейшего одномерного случая напорно-безнапорной фильтрации воды, который показан на рис. 1. Область фильтрации длиной L разделена на напорную зону длиной B и безнапорную зону длиной C . В случае установившегося, стационарного процесса фильтрации воды слева направо (показано на рис. 1 стрелкой) точка A , разделяющая область фильтрации на две зоны, будет всегда неподвижна. В напорной зоне B напоры обозначим как H , при этом они отсчитываются от водоупорной подошвы 5 до напорной линии 1. В этой зоне напор H и мощность M обычно не совпадают, причём M всегда меньше, чем H . В безнапорной зоне C напор и мощность совпадают и обозначены маленькой буквой h . В этой зоне в стационарных условиях свободная поверхность воды 2 принимает форму параболы Дюпюи [9], что было точно доказано И.А. Чарным [4]. Водонесущий пласт, через который

происходит движение фильтрационного потока воды, обозначен цифрой 4. Водонесущим пластом может быть любой проницаемый грунт или искусственный материал. Сверху этого пласта расположен водоупорный слой 3 – это может быть глина, скала, бетон, асфальт и т.д. Слева от области фильтрации длиной L расположен водоём, создающий граничное условие (ГУ) 1-го рода с постоянным напором H_1 . Зарубежная терминология называет ГУ условием Дирихле. Справа от области фильтрации длиной L расположен другой водоём с постоянным напором H_2 . Правое и левое граничные условия с постоянным напором обеспечивают установившуюся стационарную фильтрацию воды в направлении оси x с постоянным расходом воды на 1 метр ширины фронта потока. Термин «водоём» у нас принят условно. Например, в качестве таких водоёмов можно представить себе ямы на разбитых автомобильных дорогах, заполненные водой весной при снеготаянии или летом после затяжных дождей. Тогда поверхностная вода из этих ям начинает просачиваться через проницаемые слои песка и щебня под дорогой, создавая её подтопление. Процесс фильтрации при этом как раз является случаем напорно-безнапорного течения воды, например слой 3 на рис. 1 может быть асфальтовым покрытием, которое обладает водоупорными свойствами вследствие пропитки его битумом. Немаловажной является своевременная информация об осеннем подтоплении городских дорог, так как такие дороги зимой будут подвергаться морозному пучению и ещё большему разрушению от идущего транспорта. Вот почему весной городские дороги после схода снега оказываются ещё больше разбитыми, чем до этого осенью.

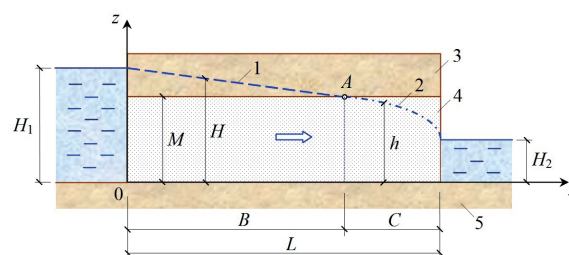


Рисунок 1

Более сложным случаем является процесс нестационарной (неустановившейся) фильтрации воды с напорно-безнапорным течением. Тогда точка A , разделяющая напорную и безнапорную зоны (см. рис. 1), движется на-

право или налево. Направление этого движения зависит от начальных условий рассматриваемого процесса, то есть от его предыдущей истории. Например, если уровень воды в левом водоёме не изменяется во времени, а уровень воды в правом водоёме зависит от водопритока из водоносного пласта 4, то движение фильтрующейся воды с напорно-безнапорным течением будет всегда нестационарным (не установившимся). При этом, напор слева H_1 весь период фильтрации является величиной постоянной, константой. Это соответствует граничному условию 1-го рода (условие Дирихле). На правой границе водоносного пласта напор H_2 зависит от водопритока, который, в свою очередь, зависит от перепада напоров H_1 и H_2 . Это соответствует смешанному граничному условию (Дирихле-Неймана), которое также называют граничным условием 3-го рода. В рассматриваемом примере уровень воды в правом водоёме будет постепенно подниматься, то есть создавать подпор и ухудшение дренирования водоносного пласта 4. Точка А будет смещаться направо. Напорная зона шириной В будет увеличиваться, а безнапорная зона шириной С, наоборот, будет уменьшаться. Когда уровень воды в правом водоёме достигнет высотной отметки М, которая соответствует водоупорной кровле, то движение воды в проницаемом грунте или материале станет напорным по всей длине области фильтрации L (см. рис. 1), однако нестационарность фильтрационного процесса не исчезнет. Процесс подтопления и затопления правого водоёма прекратится лишь при выравнивании напоров H_1 и H_2 , постепенно замедляясь.

Далее изложим нашу гипотезу теории фильтрации, которая позволяет вывести её на новый уровень представлений о движении воды в трещиновато-пористых средах с напорно-безнапорными течениями. Свободная поверхность воды 2 (см. рис. 1) по классическому определению соответствует давлению, равному атмосферному. Традиционно считают [1], что если в условиях нестационарного напорно-безнапорного течения в точке А напорная линия 1 отрывается от водоупорной кровли 3, то давление на появившейся свободной поверхности 2 мгновенно становится равным атмосферному. С таким предположением ещё можно согласиться, если выше уровня свободной поверхности имеется зона аэрации, поры и трещины которой насыщены атмосферным воздухом. В отличие от такой традиционной точки зрения, на наш взгляд, давление при нестационарной фильтрации на отрывающейся от водоупорной кровли 3 свободной поверхно-

сти воды некоторое время остаётся в состоянии вакуума, то есть ниже атмосферного. Это можно объяснить тем, что выше точки А (см. рис. 1) расположен водоупор. Атмосферное давление не может свободно проникать от уровня земли до уровня подземных вод (УПВ). В случае, показанном на рис. 1, прорыв воздуха возможен лишь со стороны правой вертикальной границы области фильтрации 4 между уровнем воды в правом водоёме и нижней границей водоупорного слоя 3. То есть между вертикальными высотными отметками H_2 и М. При отсутствии доступа воздуха участок водоносного пласта становится подобен сифонному трубопроводу, работающему с наличием вакуума.

Аналитическое решение самого простого случая стационарной напорно-безнапорной фильтрации, показанное на рис. 1, рассмотрено В.И. Аравиным и С.Н. Нумеровым [10]. Получение решения в виде формулы в случае нестационарной фильтрации затруднительно. Поэтому приходится прибегать к моделированию процесса. В последнее время наиболее удобной технологией моделирования фильтрации является компьютерное, с использованием численных алгоритмов. Нестационарные задачи эффективнее всего решать методом конечных разностей [11]. В качестве инструмента моделирования предложен авторский метод электронных таблиц. Движение ползущей границы предложено реализовывать с помощью условного оператора программирования «Если (If)».

Чтобы избежать ошибок линеаризации, иногда надо вообще от неё отказываться, переходя к моделированию без введения средней мощности водоносного пласта. Рассмотрим это на примере метода конечных разностей (МКР). Данный метод широко использован в нашей монографии 2002 года издания «Фильтрационные расчёты и компьютерное моделирование при защите от подтопления в городском строительстве», за подробностями туда и отсылаем читателя. Эту монографию с нашими исключительными авторскими правами можно свободно скачать в электронном виде по следующим адресам:

<http://sologaev.ucoz.ru>

<http://sologaev.umi.ru>

Представляя напорно-безнапорный фильтрационный поток в виде сетки, разбитой на пространственные шаги, в каждом узле сетки имеем определённый напор воды. Связывая по закону Дарси соседние узлы сетки, получаем элементарный фильтрационный расход. Вместо введения средней мощности пласта во всех узлах сетки, принимаем мощность

(толщину) водонасыщенного слоя как среднее арифметическое между соседними узлами. Постепенное уменьшение пространственного шага узлов сетки позволяет гарантированно избавиться от погрешностей осреднения.

МКР-схему лучше всего принимать явную, для нестационарной фильтрации подземных вод. Строго говоря, в терминах вычислительной математики, следует применять явную разностную схему для решения дифференциальных уравнений фильтрации параболического типа, то есть для нестационарного движения подземных вод в плане в рамках гипотезы Буссинеска.

Возвращаясь к обсуждению гидравлической теории фильтрации применительно к напорно-безнапорному течению воды, можно отметить, что чистое моделирование нелинейных задач фильтрации не является универсальным инструментом исследования. Дело в том, что компьютерная модель всегда отражает какой-то конкретный частный случай фильтрации. В отличие от этого, если удаётся получить аналитическое решение нелинейной задачи фильтрации, то оно из-за своей универсальности охватывает уже целый класс подобных задач. Мы рекомендуем для целей защиты от подтопления в городском строительстве использовать наш метод автомодельных движений с численным моделированием (АДЧМ). Он впервые описан с примерами в нашей монографии 2002 года. Необходимо дальнейшее его развитие с целью получения аналитических формул, позволяющих более точно рассчитать фильтрационные напоры и расходы воды при движении по проницаемым слоям конструкций, принятых в городском строительстве, с учётом напорно-безнапорного течения воды. Кроме того, решение таких задач позволяет обосновать защиту от загрязнения подземных вод [12].

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Таким образом, рассмотрена методология моделирования напорно-безнапорной фильтрации воды в городском строительстве. Изложена гипотеза теории фильтрации, которая позволяет вывести её на новый уровень представлений о движении воды в трещиновато-пористых средах с напорно-безнапорными течениями. В отличие от традиционной точки зрения, давление при нестационарной фильтрации на отрывающейся от водоупорной кровли свободной поверхности воды некоторое время остаётся в состоянии вакуума, то есть ниже атмосферного В качестве инстру-

мента моделирования предложен авторский метод электронных таблиц. Движение ползущей границы предложено реализовывать с помощью условного оператора программирования. Указаны направления дальнейшего развития предложенной методологии, в том числе и в области получения аналитических зависимостей, что может быть полезно аспирантам и докторантам, а также научным работникам по борьбе с подтоплением в городском строительстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917-1967) / Под ред. П.Я. Полубариновой-Кочиной. – М.: Наука, 1969. – 546 с.
2. Павловский, Н.Н. Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные приложения / Н.Н. Павловский. – Петроград: Изд-во Научно-мелиорационного института, 1922. – 752 с.
3. Куранов, Н.П. О связи гидродинамической и гидравлической теорий фильтрации и способах их линеаризации при исследовании вопросов подтопления территорий грунтовыми водами / Н.П. Куранов // Инженерная защита территорий. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1982. – С. 5-20.
4. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод / П.Я. Полубаринова-Кочина. – М.: Наука, 1977. – 664 с.
5. Darcy H. Les Fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris: Victor Dalmont, 1856. 647 p.
6. Прогнозы подтопления и расчёт дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях: Справочное пособие к СНиП / А.Ж. Муфтахов, И.В. Коринченко, Н.М. Григорьева, А.П. Шевчик и др.; ВНИИ ВОДГЕО. – М.: Стройиздат, 1991. – 272 с.
7. Аверьянов, С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод / С.Ф. Аверьянов. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 85-447.
8. Van Genuchten, M.T. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 1980, 44, p. 892–898.
9. Dupuit J. Etudes theoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux decouverts et a travers les terrains permeables. Paris: Dunod editeur, 1863. 304 p.
10. Аравин, В.И. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде / В.И. Аравин, В.И., С.Н. Нумеров. – М: Гостехтеориздат, 1953. – 616 с.

11. Поршневу, С.В. Вычислительная математика / С.В. Поршневу. – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 320 с.

12. Куранов, П.Н. Использование концепции наилучших доступных технологий при

обосновании системы инженерной защиты природных вод от загрязнения / П.Н. Куранов // Водоснабжение и санитарная техника. – М., 2015. – 9. – С. 22-29.

ABOUT MODELING OF PRESSURE-FREE PRESSURE FILTRATION OF WATER IN URBAN CONSTRUCTION

V.I. Sologaeu

Annotation. *The methodology of modeling pressure-free pressure filtration of water in urban construction is considered. A feature of this process is the presence of a creeping boundary of the free surface of water in a fractured porous medium if real nonstationary flows are considered as a function of time. The simplest one-dimensional case of pressure-free pressure filtration of water is considered. The hypothesis of the theory of filtration is stated, which allows to bring it to a new level of ideas about the motion of water in fractured-porous media with pressure-free flow. In contrast to the traditional point of view, the pressure for non-stationary filtration on the free surface of the water surface leaving the waterproof roof remains for some time in a state of vacuum, that is, below atmospheric. The author's method of spreadsheets is proposed as a modeling tool. The motion of the creeping boundary is suggested to be realized using a conditional programming operator. The directions of the further development of the proposed methodology are indicated.*

Keywords: *theory of filtration, pressure-free flow, underflooding.*

REFERENCES

1. Development of filtration theory research in the USSR (1917-1967) / Ed. P.Y. Polubarinova-Cochina. M. : Nauka, 1969. 546 p.

2. Pavlovsky N.N. Theory of movement of groundwater under hydraulic engineering constructions and its main applications. Petrograd: Publishing House of Science and melioration institute, 1922. 752 p.

3. Kuranov N.P. About the relationship between hydrodynamic and hydraulic filtration theories and methods of linearization in the study of the issues of flooding areas groundwater. Engineering protection of territories. M. : Institute VODGEO, 1982. P. 5-20.

4. Polubarinova-Cochina P.Y. Motion Theory groundwater. M. : Nauka, 1977. 664 p.

5. Darcy H. Les Fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris: Victor Dalmont, 1856. 647 p.

6. The forecasts of flooding and calculation of drainage systems in built-up and built-up areas: A Reference Guide to the SNP / A.Z. Muftakhov, I.V. Korinchenko, N.M. Grigorieva, .AP. Szewczyk et al; Institute VODGEO. M. : Stroyizdat, 1991. 272 p.

7. Averyanov S.F. Filtering of the channels and its effect on the groundwater regime. M. : Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1956. P. 85-447.

8. Van Genuchten, M.T. A Closed-form Equa-

tion for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 1980, 44, p. 892–898.

9. Dupuit J. Etudes theoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux decouverts et a travers les terrains permeables. Paris: Dunod editeur, 1863. 304 p.

10. Aravin V.I., Numerov S.N. The theory of the movement of fluids and gases in non-deformable porous medium. M: Gostehteorizdat, 1953. 616 p.

11. Porshnev S.V. Computational Mathematics. SPb. : BHV-Petersburg, 2004. 320 p.

12. Kuranov P.N. Using the concept of best available techniques in the justification of engineering protection of natural waters from pollution. Water supply and sanitary engineering. M., 2015. N 9. P. 22-29.

Сологаев Валерий Иванович (Россия, Омск) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры городского строительства и хозяйство Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (СибАДИ), (644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: sologaev2010@yandex.ru).

Sologaeu Valery Ivanovich (Russia, Omsk) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department urban development of The Siberian Automobile and Highway Academy (SibADI) (644080, Russia, Omsk, Mira, 5, e-mail: sologaev2010@yandex.ru).

РАЗДЕЛ IV. ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 351.74/76

ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

И.Г. Бавсун

Омская академия МВД России, г. Омск, Россия

Аннотация. Статья посвящена проблемам организации и осуществления информационно-аналитической работы в органах внутренних дел. В частности, рассматриваются сложности правового, организационного, методического, кадрового и технического характера. На основе общих принципов управленческой деятельности, в представленной работе анализируется функция управления на примере одной из систем, имеющей замкнутый характер. На основе проведенного анализа формулируются основные направления, следование которым необходимо для выведения данной конкретной системы из управленческого кризиса.

Ключевые слова: информация, аналитическая работа, информационное обеспечение.

ВВЕДЕНИЕ

Систематический сбор и систематизация достоверной и актуальной информации, характеризующей внешнюю и внутреннюю среду организации, а также ее своевременный и качественный анализ являются важнейшими условиями успешной деятельности системы управления. Учет и анализ – общие функции управления, от уровня осуществления которых напрямую зависит и качество принимаемых управленческих решений, определяющих как направление развития организации, так и разрешающих текущие оперативные проблемы. Важнейшей деятельностью, обеспечивающей возможность самого существования и развития общества, является деятельность по обеспечению общественной безопасности, поддержанию общественного порядка и противодействию преступности, а основным ее субъектом остаются органы внутренних дел. В то же время проблемы реализации инфор-

мационно-аналитической функции в данной системе не теряют своей актуальности.

ПРОБЛЕМАТИКА ОРГАНИЗАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО УЧЕТА

Проблемы правового обеспечения. Порядок осуществления информационно-аналитической работы в самых общих чертах был определен Временным наставлением по службе штабов органов внутренних дел [1] (штабы всех уровней системы МВД России занимают особое место среди субъектов организации и осуществления аналитической деятельности, так как призваны организовывать ее в службах и подразделениях самих аппаратов управления, а также подчиненных территориальных органов внутренних дел). Но в настоящее время данный нормативный акт утратил силу, оставив за пределами правового регулирования нормативных актов федерального уровня многие аспекты рассматриваемой

мой деятельности. В таких условиях органы внутренних дел МВД России на региональном уровне вынуждены самостоятельно решать многие вопросы информационно-аналитического обеспечения, в связи с чем в разных регионах складывается разная практика. Таким образом, тенденция децентрализации правового регулирования информационно-аналитического обеспечения органов внутренних дел [2, с. 12] давно имевшая место, усилилась.

Решение этой проблемы видится в разработке единого нормативного акта, регламентирующего информационно-аналитическую деятельность в целом в системе МВД России, который бы четко установил перечень собираемой информации, унифицировал показатели оперативной обстановки и результатов деятельности органов и подразделений внутренних дел, разработал бы формы и содержание аналитических документов, определил конкретных должностных лиц, выполняющих эту работу, ограничил число адресатов предоставления информации. Региональные особенности компонентов оперативной обстановки и специфика информационно-аналитической работы могут быть прописаны в нормативных актах органов внутренних дел регионального уровня.

В перспективе же речь необходимо вести о разработке аналогичного документа на федеральном уровне для правоохранительных органов, реально участвующих в обеспечении правопорядка и борьбе с преступностью, т.к. задача по выявлению, раскрытию и расследованию преступлений возложена не только на органы системы МВД, и чтобы эффективно бороться с преступностью в стране в целом, нужна четкая картина оперативной обстановки независимо от ведомственной подследственной принадлежности.

Проблемы организационного обеспечения. Данное направление связано, прежде всего, с информационной составляющей рассматриваемой функции. Следует согласиться с тем, что первым и необходимым условием оптимизации информационного обеспечения управленческой деятельности органов внутренних дел – построение информационного фонда органа и определение порядка движения информации в строгом соответствии с характером и объемом задач, возложенных на каждое конкретное подразделение или службу в соответствии с их местом в иерархической структуре управления, структурой органа. Информацию следует приводить в стройную систему, с логической связью позиций и показа-

телей, четко определять объем и содержание необходимых сведений [3, с. 15].

В целях упорядочения потоков внутренней информации штаб согласовывает с руководителями подразделений номенклатуру, периодичность представления и лиц, ответственных за предоставление в штаб информационно-аналитических, справочных и иных материалов. Следует заметить, что для каждого уровня управления требуется свой объем информации для анализа. Поэтому следует разрабатывать перечни информации, поступающие в органы и подразделения органов внутренних дел всех уровней. Подобные перечни, во-первых, обеспечат необходимый для анализа минимум информации, а, во-вторых, избавят информационный фонд от избыточных и ненужных сведений, а кроме того, введет поступление информации в строго регламентированные рамки.

Что касается обмена информацией с внешними источниками, то он требует налаживания связей с различными организациями и ведомствами. Одной из форм такого взаимодействия можно считать заключение договоров о взаимобмене необходимой информацией, подписание совместных приказов и соглашений.

Необходимо упорядочить и потоки производной информации, полученной в результате анализа. Важно четко определить содержание, объем, порядок, сроки представления обобщенной аналитической информации об оперативной обстановке или отдельным вопросам организации и деятельности органов и подразделений внутренних дел конкретно для каждого адресата – руководителей органов внутренних дел и их структурных подразделений, органов государственной власти, контрольно-надзорных и правоохранительных органов, иных инстанций и т.д. В связи с этим в нормативных актах по организации информационно-аналитической работы должно быть четко определено: кто осуществляет информирование, объем предоставляемой информации, в какие инстанции на постоянной основе такая информация направляется, какова периодичность предоставления такого рода информации. Кроме того, может быть предусмотрена возможность предоставления информации и иным должностным лицам органов власти и управления в случае, когда это регламентировано совместными приказами, договорами, соглашениями.

Проблемы методического обеспечения информационно-аналитической работы в на-

стоящий момент представляется одним из самых проблемных. Алгоритм комплексного анализа оперативной обстановки охватывает своим содержанием состояние правопорядка, внешней среды функционирования и результатов деятельности органов внутренних дел. Но на практике в большинстве случаев предоставляемые из служб и территориальных подразделений аналитические материалы, а зачастую и материалы информационно-аналитических подразделений содержат только описание статистических показателей состояния преступности по направлениям деятельности или на обслуживаемых участках. При проведении анализов не учитывается связь с внешними факторами, а также их влияние на состояние преступности, как следствие, отсутствуют объективные выводы и не вырабатываются конкретные мероприятия.

Причем такое состояние дел в аналитической сфере характерно не только для органов внутренних дел – это проблема, можно сказать, всероссийского масштаба. Профессор В.В. Лунеев утверждает: «Мы глубинно и системно не изучаем и не прогнозируем проблемы преступности. К этим проблемам даже близко не подходит и РАН... в России нет для этого соответствующих аналитических научных «мозговых» центров и квалифицированных кадров... Мы привыкли ко всему этому «незнанию», как к стихии. Довольствуемся статистической ложью, а она не отражает и сотой части реалий» [4]

В органах внутренних дел анализ зачастую сводится к механическому сравнению показателей и выводам в категориях «уменьшилось» – «увеличилось». Тогда как криминологический анализ предполагает выявление влияния внешних факторов на динамику преступности и глубокое исследование того, как каждый фактор (изменение демографической ситуации, увеличение числа иностранных граждан на обслуживаемой территории, объявление амнистии, открытие на участке обслуживания нового торгового комплекса, объектов досуга, заселение нового микрорайона и др.) может повлиять на изменение качественно-количественных характеристик преступности.

Необходимо, что бы в методических рекомендациях Организационно-аналитического департамента МВД России была раскрыта примерная методика общего и частного анализов, приведены примеры анализа отдельных видов преступлений (уличных, имущественных, экономических и др.) с указанием влияния внешних факторов и примерными выводами

о состоянии обстановки по анализируемому направлению деятельности; указан перечень сведений, составляющих внешние факторы, которые необходимы для проведения анализа деятельности конкретной службы (на примере какой либо службы: БЭПиПК, УР, УУМ); отражена специфика анализа оперативной обстановки в городских и сельских территориях с учетом особенностей исследуемых объектов и многое другое.

Проблемы технического обеспечения информационного и аналитического обеспечения правоохранительной деятельности предусматривает, прежде всего, оснащение всех структур управления средствами современной компьютерной техники, включая средства компьютерной связи, а также соответствующее программное обеспечение: операционные системы, системы управления базами данных, программные средства защиты и кодирования информации.

Другим важным моментом данного направления является максимально возможная стандартизация и унификация информационно-аналитических документов, по меньшей мере, в рамках регионального органа внутренних дел. Это касается форм статистической и текстовой, первичной и производной информации. Пока же остается открытым вопрос не только о формах, но и о видах информационно-аналитических документов: по результатам комплексного анализа и оценки оперативной обстановки готовятся справки, докладные записки, обзоры, иные документы информационно-аналитического характера. Формулировка «иные документы информационно-аналитического характера», влекущая за собой расширительное толкование, не позволяет сформировать единый унифицированный перечень информационно-аналитических документов, подготавливаемых на всех уровнях управления органами внутренних дел. В результате этого в регионах складывается разная практика, не способствующая повышению качества информационно-аналитической работы. Проведение же работы по унификации и стандартизации позволит в определенной степени сократить разнообразие документов, ускорит процесс их подготовки, повысит степень восприятия.

Проблемы кадрового обеспечения. Совершенствование информационно-аналитической деятельности органов внутренних дел не мыслимо без коренного улучшения подготовки кадров, ее осуществляющих. Выдающийся ученый П.М. Керженцев, подчеркивая

значение штабной функции, писал: «Всякий штаб, в чистом виде, – есть, так сказать, мозг организации, т.е. тот центр, который детально изучает происходящую работу и обдумывает все методы, по которым работа должна совершаться в будущем» [5, с. 33]. Это обуславливает высокие требования к профессионализму сотрудников информационно-аналитических подразделений.

Аналитик – это специалист с аналитическим складом ума, умеющий работать с большим количеством информации, отлично разбирающийся в объекте исследования, с которым он работает, профессионал, владеющий методикой анализа. Подготовка такого рода сотрудника – процесс сложный и трудоемкий, но абсолютно необходимый для организации, заинтересованной в успехе своей деятельности. В то же время следует признать, что в системе МВД России подготовка сотрудников информационно-аналитических подразделений осуществляется только в рамках повышения квалификации. А этого не всегда достаточно. Поэтому в перспективе целесообразно вести речь о появлении новой специальности в образовательных учреждениях МВД России – «Информационно-аналитическое обеспечение органов внутренних дел».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, можно сказать, что совершенствование информационно-аналитической деятельности органов внутренних дел требует комплексного решения проблем правового, организационного, методического, технического и кадрового характера. А именно, необходимо:

- совершенствование правового обеспечения (максимально полное и объективное закрепление информационно-аналитической функции в нормативных актах МВД России);

- надлежащая организация этого вида деятельности (упорядочение информационных потоков; определение внутренних и внешних источников получения информации; установление содержания, объема, форм и периодичности поступления информации, необходимой для решения аналитических задач; закрепление видов и форм аналитических документов, адресатов их получения, содержания, объема, порядка и сроков их представления конкретно для каждого адресата);

- улучшение научно-методического обеспечения аналитической деятельности (разработка методики (программы) изучения и оценки

различных видов оперативной обстановки, ее отдельных блоков и компонентов; проведение работ по выявлению, изучению и внедрению в практику передового опыта и научно-технических достижений в области аналитической деятельности);

- развитие технической базы информационно-аналитической работы (определение каналов передачи информации; обеспечение обработки информации посредством современных информационных технологий; разработка формализованные носители информации об оперативной обстановке; унификация и стандартизация информационно-аналитических документов);

- повышение профессионализма сотрудников (организация специальной подготовки руководящего состава и сотрудников, непосредственно реализующих аналитическую функцию, в рамках повышения квалификации; открытие специальности «Информационно-аналитическое обеспечение органов внутренних дел» в образовательных учреждениях МВД России).

При этом не следует забывать, что главное значение рассматриваемой деятельности состоит в обеспечении выработки управленческих решений, которые, с одной стороны, должны ослаблять и упразднять негативные факторы внешней среды, способствующие росту противоправного поведения, а с другой – способствовать повышению эффективности деятельности правоохранительных органов. Зачастую принятие такого рода решений выходит далеко за рамки компетенции органов внутренних дел, а зависит от волеизъявления федеральных и региональных властей. Если такие решения не принимаются, теряется всякое значение информационно-аналитической деятельности, а траты на ее осуществление становятся бессмысленными.

В целях совершенствования информационного обеспечения деятельности органов внутренних дел в МВД России создан Совет по созданию единой системы информационно-аналитического обеспечения деятельности МВД России [6], разработаны план мероприятий [7], а также Концепция создания единой системы информационно-аналитического обеспечения деятельности МВД России [8], которые призваны создать условия для поступления своевременной, полной, достоверной информации на основе новых информационных технологий. В МВД, ГУ МВД, УМВД субъектов Российской Федерации и во многих территориальных органах внутренних дел накоплен разносторонний

опыт организации информационно-аналитической работы. Задача МВД России организовать обобщение этого опыта, выявить положительные моменты. Ведущая роль в решении этой задачи принадлежит штабам как органам межотраслевого управления. Все это говорит об осознании значимости оптимизации информационно-аналитической функции, представляющей собой одну из основ практической деятельности всей системы органов внутренних дел. При этом необходим настрой на настойчивую, планомерную, кропотливую деятельность, основанную на желании объективно оценивать криминальную ситуацию, разумно оценить работу органов внутренних дел в целях поддержания правопорядка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об утверждении Временного наставления по службе штабов органов внутренних дел: приказ МВД России от 12 февраля 1997 г. № 89. Доступ из СПС «Консультант Плюс».

2. Бавсун И.Г. Вопросы организации информационно-аналитической работы в органах внутренних дел / И.Г. Бавсун, А.В. Клепиков // Законодательство и практика. – 2013. – № 2. – 6 с.

3. Ишин А.М. Информационно-аналитическое обеспечение и практика анализа оперативной обстановки на уровне горрайорганов внутренних дел: учеб.-практ пособие. – Калининград, 2005. – 123 с.

4. Лунеев В.В. Фактические и правовые реалии противодействия экономической преступности: тезисы доклада // <http://crimpravo.ru/blog/2454.html>.

5. Керженцев П.М. Принципы организации. – Петроград: Госиздат, 1922. – 159 с.

6. О Совете по созданию единой системы информационно-аналитического обеспечения деятельности МВД России: приказ МВД России от 24 октября 2011 г. № 1097. Доступ из СПС «Консультант Плюс».

7. О мероприятиях по созданию единой системы информационно – аналитического обеспечения деятельности МВД России: приказ МВД России от 30 июля 2011 г. № 891. Доступ из СПС «СТРАС Юрист».

8. Об утверждении концепции создания единой системы информационно – аналитического обеспечения деятельности МВД России в 2012-2014 годах: приказ МВД России от 30 марта 2012 г. № 205. Доступ из СТРАС «Юрист».

PROBLEMS OF REALIZATION OF INFORMATIONAL AND ANALYTICAL FUNCTIONS OF MANAGEMENT

I.G. Bavsun

Abstract. *The article is devoted to the problems of the Organization and implementation of informational and analytical work in the organs of internal affairs. In particular, it examines the complexity of legal, organizational, methodological, human and technical nature. On the basis of the General principles of management activities, in this work examines the function of management on the example of one of the systems with a vicious nature. On the basis of the conducted analysis basic directions are formulated, following which it is necessary for removing that particular system of crisis management.*

Keywords: *information, analysis, information software.*

REFERENCES

1. Approved by the Decree of the Ministry of Internal Affairs of Russia from February 12, 1997 No. 86 approving the Interim instructions on service of the staffs of the internal affairs authorities “// SFOR” STRAS lawyer “.

2. Bavsun I.G., The Organization of information and analytical work in the organs of Internal Affairs / I.G. Bavsun, A.V. Klepikov // legislation and practice. 2013. № 2. 6 p.

3. Ishin A.m. Informational and analytical sup-

port and practice of analyzing the operational situation on the level gorrajorganov Interior psychology. Scient. – Kaliningrad, 2005. – 123 p.

4. Luneev V.v. Factual and legal realities of counteraction to economic crime: abstracts // <http://crimpravo.ru/blog/2454.html>.

5. Kerzhentsev Tm Principles of the organization.: Gosizdat 1922, Petrograd. – 159 p.

6. Order of the Ministry of Internal Affairs of Russia from October 24, 2011 No. 1097 “on the creation of a unified system of information and analytical support to the activities of the Ministry

обладают достаточной взломоустойчивостью, а длинные, обладающие этим свойством, являются труднозапоминаемыми и, вследствие этого, пользователи вынуждены их хранить на различных носителях (файлы в телефоне и на компьютере, бумажные носители), подверженных хищению и взлому.

Во втором случае, в качестве атрибута аутентификации выступают всевозможные смарт-карты, RFID и NFC метки, USB-носители. Трудности аутентификации посредством физического носителя связаны с необходимостью иметь при себе данный атрибут аутентификации, а в случае его отсутствия (забыл или потерял) процедура аутентификации становится невозможной. Кроме этого, физический носитель, как и записанный на бумаге пароль может быть украден, передан или же скопирован.

Третий вариант, связанный с биометрической характеристикой пользователя, на сегодняшний день является наиболее интересным и предпочтительным. Так как БХП невозможно передать, а его фальсификация – процесс чрезвычайно сложный, а иногда и вовсе неосуществимый. И не удивительно, что в течение последнего десятилетия существенно вырос интерес к биометрическим технологиям. Наибольшее распространение получили системы аутентификации, основанные на следующих биометрических характеристиках:

- папиллярный рисунок пальцев рук;
- голос;
- геометрия лица;
- термограмма лица;
- радужная оболочка глаза;
- сетчатка глаза;
- рукописный почерк;
- венозный рисунок.

Современный рынок биометрических систем, основанных на различных биометрических характеристиках представлен на диаграмме (рис. 1) [1].



Рисунок 1 – Доли рынка для различных биометрических систем

С использованием тех или иных биометрических характеристик пользователя связаны особенности, основанные на них биометрических систем аутентификации. Так, наиболее распространенные системы аутентификации по отпечаткам пальцев негигиеничны, что связано с контактным способом считывания БХП. Кроме этого, при работе системы возникают трудности, связанные с загрязнением поверхности рук, сезонным изменением узора, а также с различными повреждениями кожного покрова рук пользователя. При этом, без использования подсистем дополнительной защиты данный тип биометрических систем обладает низкой устойчивостью к фальсификации.

Биометрическая характеристика геометрии лица не обладает высокой уникальностью и вследствие этого увеличивается вероятность возникновения ошибок 1-го и 2-го рода («ложный отказ» и «ложный доступ» соответственно).

БХП голоса и подписи сильно зависимы от эмоционального состояния пользователя, проходящего аутентификацию и, как следствие, происходит увеличение вероятности «ложного отказа» системы.

Процедура аутентификации в биометрических системах, основанных на БХП сетчатки и радужной оболочки глаза, является крайне неприятной и психологически трудной для пользователя.

В целом, стоимость биометрической системы сильно зависит от точности. Таким образом, высокоточные биометрические системы доступны лишь крупным компаниям и организациям, а небольшим предприятиям и частным лицам по карману лишь системы с низким уровнем надежности и точности.

Несомненно, хотелось бы видеть на современном биометрическом рынке систему без вышеописанных недостатков, и при этом, обладающую высоким уровнем точности и надежности, а также низкой стоимостью. Недостатки биометрических систем связаны с выбором биометрической характеристики и, следовательно, трудно искоренимы. Таким образом, для создания такой «идеальной» биометрической системы требуется разработка новых методов биометрической аутентификации и использование иных биометрических характеристик.

К таким новым методам биометрической аутентификации можно отнести биометрическую аутентификацию по венозному рисунку, которая и будет описана в данной статье.

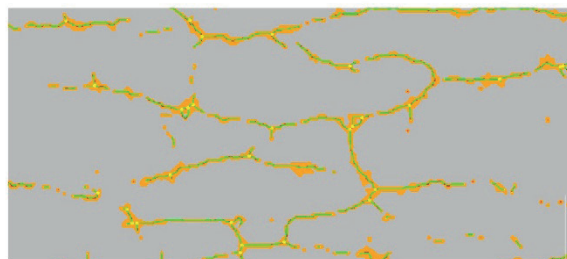
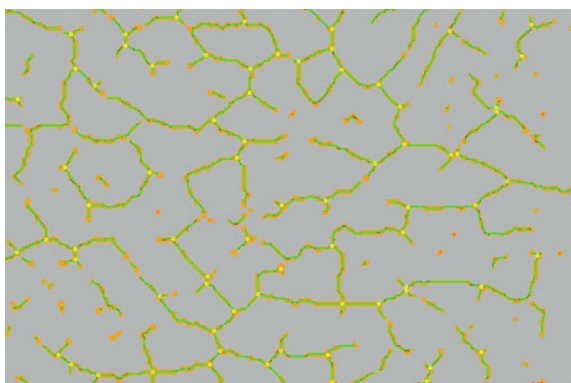


Рисунок 2 – Сравнение количества особых точек венозных рисунков ладони (слева) и пальца (справа)

Технология биометрической аутентификации пользователя по венозному рисунку. Идея данной технологии основывается на предположении об уникальности венозного рисунка каждого человека, то есть не существует двух людей с одинаковым рисунком вен [2-4]. При этом венозный рисунок формируется у ребенка еще в утробе матери и не изменяется на протяжении всей жизни.

Учеными, занимающимися исследованиями в области генетики, был проведен анализ процессов нормального развития сосудов у эмбриона. На основе результатов исследований было установлено, что итоговое расположение и форма вен определяются полученным генетическим кодом, а также влиянием различных внешних факторов [2].

Технология биометрической аутентификации по венозному рисунку основывается на оптической визуализации вен человека и их дальнейшем распознавании. Для получения БХП используется оптическая система, включающая камеру без инфракрасного (ИК) фильтра, ИК светодиоды и ИК светофильтр, пропускающий излучение, соответствующее длине волн ИК светодиодов.

Стоит отметить, что возможна регистрация венозного рисунка различных областей человеческого тела. Однако, наиболее предпочтительной областью для снятия БХП является область верхних конечностей, а именно кистей рук. Данная область предпочтительна тем, что слой подкожного жира невелик и позволяет в полном объеме визуализировать вены пользователя. Кроме этого, снятие БХП с области кистей рук более выгодно с точки зрения удобства пользователя: получению БХП чаще всего не препятствует одежда, а в случаях присутствия искусственных покровов (перчатки, варежки, различных аксессуаров) их снятие не составляет особого труда.

Сделав выбор относительно области кистей рук, также следует сделать некоторое уточнение. Для пользователя может быть удобной как аутентификация по рисунку вен ладони (тыльной или внутренней стороны), так и аутентификация по рисунку вен пальцев рук, но так как венозный рисунок ладони обладает более сложной структурой, а, следовательно, и большей уникальностью, то выбор падает именно на него (рис. 2) [5]. Вдобавок к вышесказанному, используя венозный рисунок ладони, становится возможным построение более полной цифровой модели рисунка вен пользователя, а также более точная и быстрая аутентификация.

Процесс аутентификации производится в несколько последовательных этапов (рис. 3). Для получения изображения рисунка вен поверхность кисти освещается ИК светодиодами. Поскольку гемоглобин имеет свойство поглощать ИК излучение, а другие ткани – отражать, то данное отраженное излучение, проходя через ИК светофильтр и попадая в объектив камеры представляет из себя изображение этого излучения, а те места снимка, где интенсивность данного излучения низка, обладают более темным окрасом, и, следовательно, являются месторасположением вен [6-8].

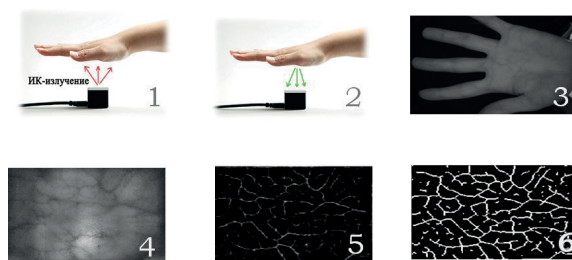


Рисунок 3 – Процесс аутентификации
Следующим этапом работы биометриче-

ской системы является создание биометрического шаблона. Этот этап включает в себя следующие действия:

- выделение области интереса;
- многоуровневая фильтрация исходного изображения ладони пользователя [5];
- выявление «особых точек» полученного рисунка вен;
- сравнение координат ранее выявленных «особых точек» с имеющимся в БД шаблоном зарегистрированного пользователя. На основе результатов сравнения можно выносить решение о предоставлении доступа пользователю или же об отказе в нем.

В базе хранится файл с координатами «особых точек» венозного рисунка пользователя, а исходное изображение ладони удаляется, вследствие чего, его восстановление является невозможным.

Преимущества технологии. Технология биометрической аутентификации пользователя по венозному рисунку обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с технологиями аутентификации, базирующимися на других БХП (отпечатки пальцев, сетчатка и радужная оболочка глаза, геометрия лица и другие). К таким преимуществам относятся:

- возможность бесконтактного считывания БХП;
- высокий уровень уникальности БХП венозного русла;
- удобство считывания БХП;
- независимость от факторов окружающей среды (освещенность, температура);
- стабильность БХП на протяжении длительного промежутка времени;
- высокая устойчивость к фальсификации, то есть попытка обмануть систему используя искусственно созданную модель венозного рисунка руки пользователя;
- неосуществимость кражи БХП;
- низкая стоимость аппаратной части и всей системы в целом;
- малая подверженность БХП к изменению под воздействием различных факторов (температура, давление, алкоголь, никотин, болезнь, повышенный или пониженный пульс, загрязнение, загар, татуировки и т.д.).

Аппаратная реализация. Считыватель – это технический комплекс, позволяющий быстро и максимально комфортно отсканировать БХП человека-пользователя. Считыватель предназначен для сканирования внутренней (внешней) стороны ладони пользователя, диалога с пользователями, а также для преобразования и опковки считываемых данных на

сервер для последующей обработки.

Для создания считывателя БХП для системы биометрической аутентификации по венозному рисунку кисти руки требуется следующее оборудование и компоненты (Рисунок 4):

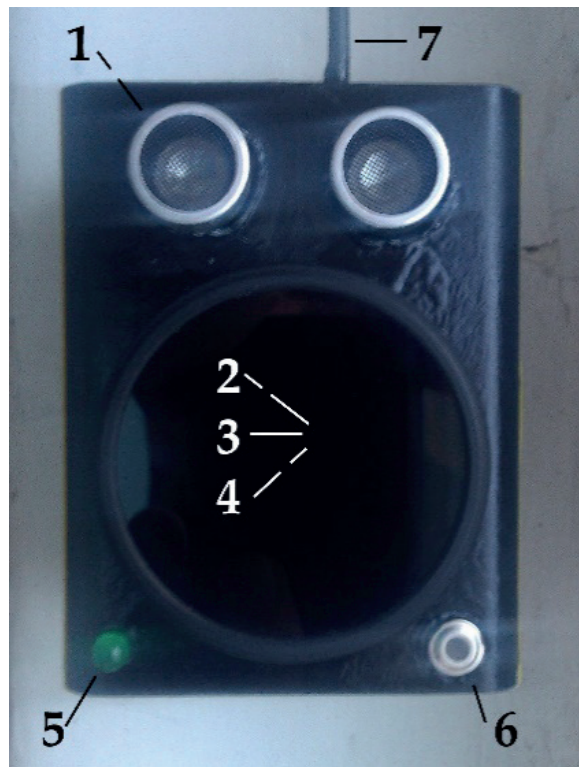


Рисунок 4 – Считыватель (1 – ультразвуковой датчик; 2 – ИК фильтр; 3 – камера; 4 – ИК светодиоды; 5 – сигнальный светодиод зелёного цвета; 6 – температурный датчик; 7 – провод для передачи данных и питания считывателя)

1. датчик расстояния (ультразвуковой или иной) для измерения расстояния от считывателя до поверхности руки пользователя и выдачи подсказок для изменения положения руки над считывателем;

2. ИК светофильтр для фильтрации отраженного от поверхности света, в том числе искусственного и естественного освещения;

3. ИК камера, либо камера без ИК фильтра, способная делать снимки объектов в ИК освещении;

4. ИК светодиоды для освещения области регистрации БХП;

5. температурный датчик для измерения температуры тела пользователя;

6. резисторы, соединительные провода – в зависимости от схемы, структуры и архитектуры устройства считывателя;

7. корпус.

Стоит отметить, что ИК светодиоды и ИК светофильтр должны соответствовать друг другу по диапазону длины волн ИК излучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология биометрической аутентификации пользователя по венозному рисунку кистей рук крайне молода, однако уже можно говорить о больших перспективах данной технологии. Выбранная БХП позволяет избавиться от проблем, связанных с надежностью, точностью, стоимостью, морально-этической стороной вопроса, а также с соответствием санитарным нормам.

Применение данной технологии возможно во многих сферах человеческой деятельности, включая банковский сектор, медицину, многообразие информационных систем, систем информационной безопасности, систем автоматизированного проектирования, а также систем контроля и управления доступом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мальцев А.В. Современные биометрические методы идентификации [Электронный ресурс]: [статья] / А.В. Мальцев. – Москва, 2011. – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/126144/>

2. Coultas L. Endothelial cells and VEGF

in vascular development / L. Coultas, K. Chawengsaksophak, J. Rossant // Nature. – 2005. – №7070 (1438). – P. 937-945.

3. Горчаков В. Н. Морфологические методы исследования сосудистого русла: учеб. пособие / В. Н. Горчаков. – Н.: Сиб. отделение РАМН, 1997. – 439 с.

4. Романовский А. Е. Унифицированный метод импрегнации нервной и сосудистой систем на пленчатых препаратах: учебное пособие / В. Н. Горчаков, А. Б. Цыбин – Н.: Западно-Сибирское книжное издательство, 1981. – 23 с.

5. Miura N. Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its applications to personal identification / N. Miura, A. Nagasaka, T. Miyatake // Machine vision and applications. – 2004. – №4. – P. 194-203.

6. Anderson R. R. Optical radiation transfer in the human skin and applications in vivo remittance spectroscopy: bioengineering and the skin / R. R. Anderson, J. Hu, J. A. Parrish // MTP Press. – 1981. – P. 253-265.

7. Тихонов И. А. Инфракрасная визуализация кожных покровов / И. А. Тихонов, И. Н. Спиридонов // Биомедицинская техника и радиоэлектроника. – 2010. – №9. – С. 26-32.

8. Anderson R. R. Optical properties of human skin. / R. R. Anderson, J. A. Parrish // The Science of Photomedicine: Plenum Press. – 1982. – №3. – P. 147-194.

PALM VEIN PATTERN BIOMETRIC AUTHENTICATION TECHNOLOGY

S.O. Baranov, D.B. Abramov

Abstract. The article considered biometric authentication system based on palm vein pattern recognition technology. The market of biometric systems, the problem of biometric authentication, and the principle of action steps in the process of user authentication, and hardware implementation of the reader device are described. It is shown that vein matching has some advantages over its analogues. Areas of possible application of this technology are revealed.

Keywords: biometric authentication, vein pattern, biometric feature, biometric system.

REFERENCES

1. Maltsev A. V. Modern biometric identification methods [Electronic resource]: [article] / A.B. Maltsev. – Moscow, 2011. – Access mode: <http://habrahabr.ru/post/126144/>

2. Coultas L. Endothelial cells and VEGF in vascular development / L. Coultas, K. Chawengsaksophak, J. Rossant // Nature. – 2005. – No. 7070 (1438). – P. 937-945.

3. Gorchakov V. N. Morphological methods of

studying the vascular bed: tutorial / V. N. Gorchakov. – N.: Sib. Department of Russian Academy of Medical Sciences, 1997. – 439 p.

4. Romanovsky A. E. Unified method of impregnation of nervous and vascular systems on film preparations: tutorial / V. N. Gorchakov, A. B. Tsybin – N.: West Siberian Book Publishers, 1981. – 23 p.

5. Miura N. Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its applications to personal identification / N. Miura,

- Баранов Сергей Олегович (Омск, Россия)
– аспирант кафедры «Автоматизированные
системы обработки информации и управле-

Baranov Sergey Olegovich (Omsk, Russian)
– postgraduate of the Department “Automated
Systems of Information Processing and Manage-
ment” “SibADI” (644080, Omsk, Mira, 5, email:
baranov@kvarkstudio.ru).

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ТРЕХКООРДИНАТНЫХ ДАТЧИКОВ ВЕКТОРНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН УПРАВЛЯЮЩИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

2) Омский государственный технический университет «ОмГТУ». Россия, г. Омск

Ключевые слова: трехкоординатный датчик, конструктивные погрешности, погрешность чувствительности, погрешность неортогональности.

Управляющие информационные системы, осуществляющие контроль и измерение векторных физических величин в некоторых технологических процессах используют трехкоординатные датчики. Такие датчики позволяют выделить три составляющие вектора физиче-

ской величины. Особенностью этих датчиков является то, что их чувствительные элементы устанавливаются на трех координатных осях прямоугольной декартовой системы координат [1-4]. Технологически обеспечить ортогональность расположения чувствительных элементов на корпусе датчика не всегда пред-

ставляется возможным. При не соблюдении ортогональности расположения чувствительных элементов на корпусе датчика будут возникать инструментальные (конструктивные) погрешности.

Инструментальные погрешности трехкоординатных датчиков несложно определить, если учесть, что модуль вектора физической величины получается после геометрического суммирования трех его составляющих, выделяемых датчиком согласно выражению

$$E = k \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2}, \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции датчика и его измерительных цепей, т.е. это результирующая чувствительность датчика; u_x, u_y, u_z – составляющие вектора $\vec{E}$ физической величины (электрические величины), соответственно равные

$$\begin{aligned} u_x &= k_x E \cos \alpha; \\ u_y &= k_y E \cos \beta; \\ u_z &= k_z E \cos \gamma, \end{aligned} \quad (2)$$

где k_x, k_y, k_z – чувствительности датчика по координатным осям x, y, z ; α, β и γ – углы между вектором физической величины и соответствующими координатными осями x, y, z датчика; $\cos \alpha, \cos \beta$ и $\cos \gamma$ – направляющие косинусы между векторной величиной и соответствующими координатными осями датчика, удовлетворяющие условию [5]

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1.$$

В общем случае чувствительности k датчика по трем координатным осям могут быть не равны, то есть $k_x \neq k_y \neq k_z$. С учетом неравенства чувствительностей и выражения (2) выражение (1) может быть приведено к виду

$$E = E \sqrt{k_x^2 \cos^2 \alpha + k_y^2 \cos^2 \beta + k_z^2 \cos^2 \gamma}. \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, какие из инструментальных (конструктивных) погрешностей присущи трехкоординатному датчику. Это, прежде всего погрешность чувствительности δ_k и погрешность ортогональности координатных осей $\delta_{опм}$. Все эти погрешности являются систематическими. Они вызваны неточностью изготовления корпуса датчика и расположения чувствительных элементов по трем его ортогональным осям. Поэтому эти погрешности относятся к группе инструментальных погрешностей.

Погрешность чувствительности δ_k . Эта погрешность возникает из-за неравенства чувствительности по каждому каналу преобразования трехкоординатного датчика, то есть в выражении (3) $k_x \neq k_y \neq k_z \neq k$.

Пусть $k_x = k(1 \pm \delta_1)$, $k_y = k(1 \pm \delta_2)$, $k_z = k(1 \pm \delta_3)$, где k – расчетная чувствительность датчика, условно принятая равной $k=1$; $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – погрешности, вызванные отклонениями чувствительности по каждой координате преобразования трехкоординатного датчика от расчетной. Тогда воспользовавшись выражением (3) и классическим выражением для относительной погрешности

$$\delta = \frac{E - E_0}{E_0}, \quad (4)$$

находим

$$\delta_k = \sqrt{1 + \delta_1(\delta_1 + 2)\cos^2 \alpha + \delta_2(\delta_2 + 2)\cos^2 \beta + \delta_3(\delta_3 + 2)\cos^2 \gamma} - 1. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что погрешность чувствительности δ_k в общем случае зависит от

ориентации датчика в пространстве и максимум этой погрешности совпадает с наибольшей погрешностью чувствительности одного из каналов преобразования трехкоординатного датчика. Это значит, что если в выражении (5) $\delta_1 < \delta_2 < \delta_3$, то $\delta_{k\max} = \pm\delta_3$. Поэтому для исключения зависимости погрешности чувствительности δ_k от ориентации датчика, необходимо соблюдать условие $\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta$. При этом условия погрешность δ_k будет зависеть только лишь от погрешности чувствительности δ .

Погрешность чувствительности δ сильно зависит от точности изготовления, как корпуса датчика, так и его чувствительных элементов. Однако, выполняя градуировку трехкоординатного датчика по каждому из каналов преобразования, можно свести эту погрешность к желаемому минимуму.

Погрешность от неортогональности координатных осей $\delta_{\text{орт}}$. Она возникает, когда оси чувствительных элементов трехкоординатного датчика не строго совмещены с его ортогональными осями.

Это приводит к тому, что в выражении (3) даже при выполнении условия $k_x = k_y = k_z = 1$ сумма квадратов направляющих конусов не равна 1, то есть $\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma \neq 1$. Неортогональность координатных осей ТЭСД является основной причиной, вызывающей зависимость результирующего модуля вектора физической величины от его ориентации датчика в пространстве.

Рассмотрим эту погрешность. Для этого обратимся к рис. 1, на котором изображена одна из ортогональных координатных осей, например y и неортогональная ось y' .

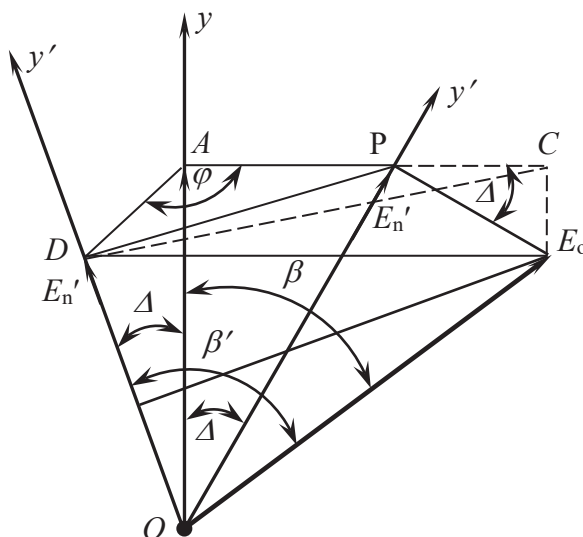


Рисунок 1 – К расчету погрешности ортогональности координатных осей трехкоординатного датчика.

Выделим одну из координатных осей трехкоординатного датчика, например ось x и будем считать, что две другие оси y и z неортогональны по отношению к ней и самим себя. Все координатные оси, при этом проходят через центр датчика. Найдем направляющие косинусы между вектором физической величины и неортогональными осями датчика и их взаимосвязь с соответствующими направляющими косинусов этого вектора по отношению к ортогональным осям.

Ось y' по отношению к оси z может занимать различные произвольные положения. Эти положения задаются широтным углом Δ и долготным углом φ . Углы β и β' – это углы между вектором физической величины и соответствующей ортогональной y и неортогональной y' осями. Из рисунка 1 несложно найти взаимосвязь между направляющими косинусов этих углов

$$\cos \beta' = \cos(\beta - \Delta) \left[1 - 2(\sin^2 \Delta) \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2} \right] - \sin(\beta - \Delta) \cdot (\sin 2\Delta) \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2}. \quad (6)$$

Теперь найдем погрешность $\delta_{\text{орт}}$ по формуле

$$\delta_{\text{орт.}} = \sqrt{\cos^2 \alpha' + \cos^2 \beta' + \cos^2 \gamma' - 1}, \quad (7)$$

где $\cos \beta'$ и $\cos \gamma'$ – определяются выражением (6), в котором для $\cos \beta'$ – широтный Δ и долготный φ углы будут соответственно обозначаться Δ_1 и φ_1 , а для $\cos \gamma'$ эти же углы будут обозначаться как Δ_2 и φ_2 . После подстановки выражения (6) в выражение (7) и соответствующих преобразований получим

$$\delta_{\text{орт.}} = \sqrt{A - B_1 \sin^2 \frac{\varphi_1}{2} + C_1 \sin^4 \frac{\varphi_1}{2} - B_2 \sin^2 \frac{\varphi_2}{2} + C_2 \sin^4 \frac{\varphi_2}{2} - 1}, \quad (8)$$

где

$$\begin{aligned} A &= \cos^2 \alpha + \cos^2 (\beta - \Delta_1) + \cos^2 (\gamma - \Delta_2) \\ B_1 &= 2 \sin^2 \Delta_1 - 2 \sin^2 \Delta_1 \cos 2\beta + \sin 2\Delta_1 \sin 2\beta; \\ B_2 &= 2 \sin^2 \Delta_2 - 2 \sin^2 \Delta_2 \cos 2\beta + \sin 2\Delta_2 \sin 2\beta; \\ C_1 &= 2 \sin^2 \Delta_1 - 2 \sin^2 \Delta_1 \cos 2\beta + (2 \sin^4 \Delta_1) \cdot (1 - \sin^2 \Delta_1) \sin 2\beta; \\ C_2 &= 2 \sin^2 \Delta_2 - 2 \sin^2 \Delta_2 \cos 2\beta + (2 \sin^4 \Delta_2) \cdot (1 - \sin^2 \Delta_2) \sin 2\beta. \end{aligned}$$

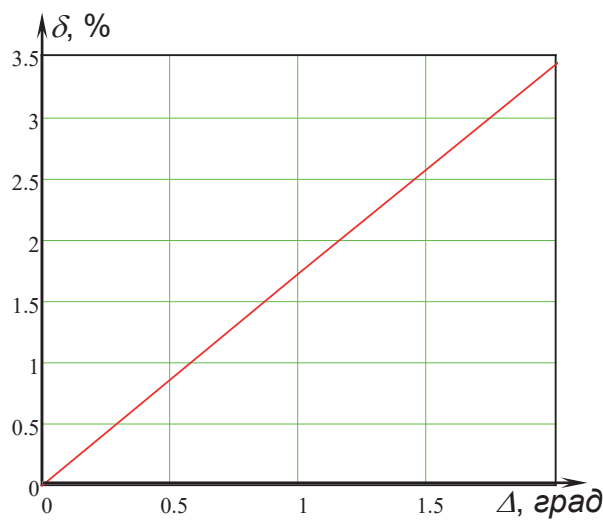


Рисунок 1 – График погрешности ортогональности координатных осей датчика

Проведем оценку $\delta_{\text{орт.}}$. Для этого сначала найдем максимум этой погрешности по φ_1 и φ_2

$$\delta_{\text{орт. max}}(\varphi_1, \varphi_2) = \sqrt{A} - 1, \quad (9)$$

а затем по β и γ , учитывая равенство $\cos^2 \alpha = 1 - \cos^2 \beta - \cos^2 \gamma$. В результате получим

$$\delta_{\text{орт. max}} = \sqrt{1 \pm \sin \Delta_1 \sqrt{1 + 3 \sin^2 \Delta_1} \pm \sin^2 \Delta_2 \sqrt{1 + 3 \sin^2 \Delta_2}} - 1. \quad (10)$$

Предельное значение $\delta_{\text{орт}}$ по (9) будет, если в качестве Δ принять больший из Δ_1 и Δ_2 . Тогда получим

$$\delta_{\text{орт. max}} \leq \sqrt{1 \pm (2 \sin \Delta) \cdot \sqrt{3 \sin^2 \Delta + 1}} - 1 \approx \pm \Delta \quad (11)$$

График изменения этой погрешности представлен на рис.2 при изменении широтного угла Δ от 0 до 2° градусов или от 0 до 0,035 радиан. Из графика следует, что скорость изменения погрешности ортогональности составляет 1.75 %/град.

Таким образом, погрешность ортогональности координатных осей трехкоординатного датчика физической величины не превышает максимального отклонения угла между ортогональной и неортогональной осью и линейно зависит от этого угла в пределах от 0 до 10°.

Погрешность $\delta_{\text{орт.}}$ нельзя свести к минимуму посредством градуировки трехкоординатного датчика. Поэтому к изготовлению датчика, особенно к разметки его координатных осей должны предъявляться жесткие требования, поскольку согласно выражению (10), отклонения положения координатной оси от ортогональной на 1° приводит к $\delta_{\text{орт.}} = 1,75 \%$.

Следует отметить, что существуют приборы с однокоординатными датчиками, поочередно измеряющие и запоминающие составляющие вектора физической величины по осям x , y и z с последующим определением его модуля по формуле (1). При этом датчик физически поочередно устанавливается так, чтобы его ось датчика сначала совпала с направлением x , затем y и потом z . Если при этом плоскость, на которую устанавливается датчик не строго горизонтальна, то также будет возникать погрешность ортогональности координатных осей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный в статье анализ инструментальных погрешностей трехкоординатных датчиков векторных физических величин, вызванных их конструктивным исполнением показал, что погрешность чувствительности

можно свести к желаемому минимуму по координатной градуировкой датчика, а погрешность ортогональности координатных осей может быть значительной и достигать единиц процентов и градуировкой эту погрешность уменьшить нельзя. Поэтому к формированию координатных осей трехкоординатных датчиков должны предъявляться жесткие требования. Погрешность, вызванная неортогональностью координатных осей может возникать и при поочередном измерении составляющих вектора физической величины прибором с однокоординатным датчиком, если этот датчик не располагать в горизонтальных плоскостях осей x , y и z .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гатман С. Двойной измеритель электрического поля с защитой /С.Гатман // Приборы для научных исследований. – 1968, №1. – С.45-49.
2. Horvath T. Измерение напряженности неискаженного электрического поля в высоковольтных установках. – Measurement of the distortion less electric field intensity of high voltage installations. Third International Symposium on High voltage Engineering. Milan, 28-31 Aug. 1979, p. 44.05/1-44.05/4.: Перевод ВЦП № Г-21913 / T.Horvath, G.Clement. – М., 1981. –12 с.
3. Щигловский К.Б. Приборы для измерения параметров электростатического поля и их калибровка / К.Б.Щигловский, В.С.Аксельрод // Измерительная техника. –1978. -№5. –С.63-65.
4. Пат. 3.750.017 США, МКИ G01R 31/02. Прибор для измерения электромагнитного поля = The device for measurement of an electromagnetic field / Ronald Ray Bowman, Ezra Ben Larson Donald Russell Belsher; Заявлено 16.09.71; Оpubл. 31.07.73.
5. Выгодский, М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. – М. : Наука, 1972. – 874с.

TOOL ERRORS OF THREE-COORDINATE SENSORS OF VECTOR PHYSICAL QUANTITIES OF THE OPERATING INFORMATION SYSTEMS

S.V. Biryukov, A.V. Tyukin

Annotation. In this article the question of increase in accuracy of transformation of three-coordinate sensors of vector physical quantities due to their design. Constructive errors, characteristic of three-coordinate sensors, are analysed. The analysis was applied to accuracy overall sensitivity of the sensor with three coordinates, and errors caused by the deviation of the axes sensor from orthogonal. It is shown that the error of the overall sensor sensitivity can be reduced to the desired minimum by

calibrating the sensor for each coordinate, and the error due to non-orthogonality of the coordinate axes can be significant and reach a few percent (1.75%/deg). To reduce this error must be strict adherence to the orthogonality of the coordinate axes of the sensor.

Keywords: *three-coordinate sensor, constructive errors, sensitivity error, orthogonality error.*

REFERENCES

1. Gatman S. Dvojnoj izmeritel' ehlektricheskogo polya s zashchitoy /S.Gatman // Pribory dlya nauchnyh issledovanij. – 1968, №1. – S.45-49.
2. Horvath T. Izmerenie napryazhennosti neiskazhennogo ehlektricheskogo polya v vysokovol'nyh ustanovkah. – Measurement of the distortion less electric field intensity of high voltage installations. Third International Symposium on High voltage Engineering. Milan, 28-31 Aug.1979, p. 44.05/1-44.05/4.: Perevod VCP № G-21913 / T.Horvath, G.Clement. – M., 1981. –12 s.
3. SHCHiglovskij K.B. Pribory dlya izmereniya parametrov ehlektrostaticheskogo polya i ih kalibrovka / K.B.SHCHiglovskij, V.S.Aksel'rod // Izmeritel'naya tekhnika. –1978. -№5. –S.63-65.
4. Pat. 3.750.017 SSHA, MKI G01R 31/02. Pribor dlya izmereniya ehlektromagnitnogo polya = The device for measurement of an electromagnetic field / Ronald Ray Bowman, Ezra Ben Larson Donald Russell Belsher; Zayavleno 16.09.71; Opubl. 31.07.73.
5. Vvgodskij, M. YA. Spravochnik po vysshej

matematike / M. YA. Vygodskij. – M. : Nauka, 1972. – 874s.

Бирюков Сергей Владимирович (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры физики ФГБОУ ВО «СиБАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5), профессор кафедры физики ФГБОУ ВО «ОмГТУ» (644050, г. Омск, пр. Мира, 11);

Тюкин Александр Владимирович (Омск, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры физики ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).

Sergey V. Biryukov (Omsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, professor, professor, Department of physics of Sibirskaya State Automobile and Highway Academy ²SibADI² (644080, Omsk, Mira Ave., 5), professor of department of physics of Omsk State Technical University ²OmGTU², Omsk, Russia (644050, Omsk, Mira Ave., 11);

Aleksandr V. Tyukin (Omsk, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Ass. Professor, professor, Department of physics of Sibirskaya State Automobile and Highway Academy ²SibADI² (644080, Omsk, Mira Ave., 5).

УДК 004.932.2

ПОСТРОЕНИЕ МЕТАМОРФИЗМОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ЭЙЛЕРА-ПУАНКАРЕ

С. В. Лейхтер

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В работе рассмотрена задача сравнения двух изображений – исходного и целевого, представляющих собой кривые заданные соответствующим каждой набором точек в двумерном пространстве. Задача решается путём нахождения диффеоморфизма, который позволит совместить точки деформируемого изображения с точками шаблона. В основе решения лежит метод построения функционала, характеризующего эволюцию диффеоморфизмов изображения от его начального состояния до конечного и «штраф» за отклонение траекторий движения точек изображения от требуемых. Разработан алгоритм решения уравнения диффеоморфизма, основанный на оптимизации (минимизации) построенного функционала методом градиентного спуска. Предложенный метод сравнения двух изображений может быть использован при оптимальном метаморфизме изображений, когда отсутствует поточечное соответствие между исходным и целевым изображениями. Разработанные в работе алгоритмы могут использоваться в биометрических системах, системах классификации изображений.

жений и объектов, системах машинного зрения, при распознавании образов и объектов, системах трекинга.

Ключевые слова: распознавание образов, уравнения Эйлера-Пуанкаре, диффеоморфизм, метаморфизм изображений.

ВВЕДЕНИЕ

В работе рассмотрена задача сравнения двух изображений – исходного и целевого, представляющих собой кривые заданные соответствующим каждой набором точек в двумерном пространстве. Задача решается путём нахождения диффеоморфизма, который позволит совместить точки деформируемого изображения с точками шаблона. В основе решения лежит метод построения функционала, характеризующего эволюцию диффеоморфизмов изображения от его начального состояния до конечного и «штраф» за отклонение траекторий движения точек изображения от требуемых. Разработан алгоритм решения уравнения диффеоморфизма, основанный на оптимизации (минимизации) построенного функционала методом градиентного спуска. Предложенный метод сравнения двух изображений может быть использован при оптимальном метаморфизме изображений, когда отсутствует поточечное соответствие между исходным и целевым изображениями. Разработанные в работе алгоритмы могут использоваться в биометрических системах, системах классификации изображений и объектов, системах машинного зрения, при распознавании образов и объектов, системах трекинга.

Отличие предлагаемого метода от существующих методов метаморфизма изображений заключается в том, что функционал, характеризующий диффеоморфизм изображений, является оптимальным и уникальным.

УРАВНЕНИЯ ЭЙЛЕРА-ПУАНКАРЕ

Рассмотрим многообразие M , на которое действует лиева группа диффеоморфизмов G . Метаморфизм – это пара кривых $(g_t, \eta_t) \in G \times M; g_0 = \text{id}$, параметризованных временем t . Будем использовать символы $\eta_t, n_t \in M$, где η_t ассоциируется с шаблоном, а $n_t = g_t \cdot \eta_t \in M$ – образ метаморфизма. g_t является элементом группы диффеоморфизмов в момент времени t ; η_t – шаблоном метаморфизма. Когда $\eta_t = \text{const}$ – метаморфизм называется диффеоморфизмом.

Будем считать, что лиева группа – это группа, которая является конечномерным вещественным гладким многообразием, в котором групповые операции являются гладкими отображениями. Дифференцируемое отображение $M \rightarrow N$ для многообразий M, N называется диффеоморфизмом, если оно является биекцией и его обратное отображение $N \rightarrow M$ является дифференцируемым. Лие-

ва группа диффеоморфизмов $\text{Diff}(M)$ дифференцируемого многообразия M является группой всех диффеоморфизмов M к самой себе [1].

Для сравнения двух изображений найдем оптимальную деформацию, которая переводит одно изображение в другое. Для этого сформируем минимизируемый функционал:

$$\int_0^1 L(g, \dot{g}, \eta, \dot{\eta}) dt, \text{ с функцией Лагранжа } L(g, \dot{g}, \eta, \dot{\eta}) \text{ и фиксированными граничными условиями } n_0 = \eta_0 \in M, n_1 = g_1 \cdot \eta_1 \in M.$$

Будем считать, что L инвариантен при правом действии элемента группы $h \in G$:

$$(g, \eta)h = (gh, h^{-1}\eta). \text{ Для метаморфизма } (g, \eta) \text{ введем скорость изменения элемента группы } \mathcal{G}, \text{ которая является элементом соответствующей лиевой алгебры } \mathfrak{g}: u = \dot{g}g^{-1} \in \mathfrak{g}$$

и $n = g\eta; v = g\dot{\eta}$, откуда $v = \dot{n} - un$ (действие лиевой алгебры обозначается конкатенацией с левой стороны). Тогда лагранжиан может быть редуцирован: $L(g, \dot{g}, \eta, \dot{\eta}) = l(u, n, v)$. Метод сравнения образов основан на решении вариационной задачи:

$$\delta \int l(u, n, v) dt = 0, \text{ для диффеоморфизмов } g \in G.$$

Из условия оптимизации действия $S = \int_0^1 l(u, n, v) dt$ по отношению к вариации δu и $\omega = \delta n = \delta(g\eta)$ при фиксированных n_0, n_1 , определим уравнения Эйлера-Пуанкаре. Найдем производную по времени $\dot{\omega}$:

$\dot{\omega} = \delta v + u\omega + \delta un$. Вариационное условие оптимизации: $\delta S = 0$ приводит к уравнению:

$$\int_0^1 \left(\left\langle \frac{\delta l}{\delta u}, \delta u \right\rangle + \left\langle \frac{\delta l}{\delta n}, \omega \right\rangle + \left\langle \frac{\delta l}{\delta v}, \dot{\omega} - u\omega - (\delta u)n \right\rangle \right) dt = 0 \quad (1)$$

члены с δu приводят к уравнению:

$$\frac{\delta l}{\delta u} + \frac{\delta l}{\delta v} \diamond n = 0; \quad (2)$$

здесь оператор $\diamond$ определяется из соотношения: $\langle v \diamond a, \xi \rangle = \langle a, \xi v \rangle; \forall \xi \in \mathfrak{g}; v \in V; a \in V^*$. После интегрирования по частям, члены с $\dot{\omega}$ в уравнении вариации получим:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\delta l}{\delta v} \right) + u \dot{a} \frac{\delta l}{\delta v} - \frac{\delta l}{\delta n} = 0, \quad (3)$$

где $\dot{a}$ определяется формулой: $\langle u \dot{a} \frac{\delta l}{\delta v}, \omega \rangle = \langle \frac{\delta l}{\delta v}, u\omega \rangle$. Для построения полной системы уравнений добавим соотношение:

$$\dot{n} = v + un. \quad (4)$$

Диффеоморфизмы $g(x) \in G; x \in M$, которые могут быть представлены в форме потоков обыкновенных дифференциальных уравнений, эволюционирующих во времени $t \in [0, 1]$ с векторным полем $u(\cdot)$ [2]:

$$\frac{dg(x)}{dt} = u(g(x)); g_{t=0}(x) = x. \quad (5)$$

Запишем скалярное произведение в пространстве $\mathfrak{g}$ в форме $\langle u, v \rangle_{\mathfrak{g}} = (L_{\mathfrak{g}} u, v); \|u\|_{\mathfrak{g}}^2 = \langle u, u \rangle_{\mathfrak{g}}$, где $L_{\mathfrak{g}}$ – оператор дуальности, который отображает элементы лиевой алгебры $\mathfrak{g}$ на элементы лиевой коалгебры $\mathfrak{g}^*$: $L_{\mathfrak{g}}: \mathfrak{g} \rightarrow \mathfrak{g}^*$. В случае механической интерпретации величина $L_{\mathfrak{g}} u$ имеет смысл вектора импульса, u – вектора скорости, $L_{\mathfrak{g}}$ – тензора инерции. Введем обратный

оператор K , который формально представим в виде: $K = L_{\mathfrak{g}}^{-1}$.

Для элементов группы $g_t \in G; t \in [0, \dots, 1]$ существуют скорости изменения g_t : $u = \frac{dg_t}{dt} g_t^{-1} \in \mathfrak{g}$, которые минимизируют функционал: $S = \int_0^1 l(u) dt$ с лагранжианом:

$$l = \|u\|_{\mathfrak{g}}^2 + \sigma^{-2} |v|^2, \quad (6)$$

на траектории, соединяющей элементы группы $g_0 = g|_{t=0}$ и $g_1 = g|_{t=1}$; здесь второе слагаемое накладывает штраф за отклонение $|v|^2 = |\dot{n} - un|^2$, обратно пропорциональный величине σ^2 .

Выражение для импульса можно формально записать в виде $p = L_{\mathfrak{g}} u$; тогда обратное выражение: $u = L_{\mathfrak{g}}^{-1} p = Kp$ или $u(x) = \int_{\Omega} K(x, y) p(y) dy$.

Для оператора: $L = \text{id} - a\nabla^2$ в $\mathbf{R}^2$ – обратный оператор $K = L^{-1}$ аппроксимируем функцией Гаусса [3]: $K(x, y) = \beta e^{-\alpha^{-1}|x-y|^2}$.

Уравнения эволюции диффеоморфизмов Эйлера-Пуанкаре можно получить решением уравнений вариационной задачи с функционалом (6) [4]:

$$\begin{aligned} \dot{g} &= u(g); \\ u &= L_{\mathfrak{g}}^{-1} p = Kp; \\ \dot{p} &= -\text{ad}_u^* p = -(Dp)u - p\nabla u - (Du)^T p, \end{aligned} \quad (7)$$

$$Df = \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right), \quad (8)$$

МЕТАМОРФИЗМ ТОЧЕЧНЫХ МНОЖЕСТВ

Пусть заданы два множества $n_0 = (x_1, \dots, x_N), n_1 = (y_1, \dots, y_N)$ выбранных точек в M . Поставим задачу нахождения такого минимального диффеоморфизма:

$g: M \rightarrow M$, что $g(x_i) \neq y_i; i = 1, \dots, N$ (неточное соответствие). Множество диффеоморфизмов $\text{Diff}(M)$ определяют структуру группы.

Для точечных множеств:

$$p(y) = \sum_{i=1}^N p_i \cdot \delta(y - q_i), \text{ откуда получим:}$$

$$u(x) = \sum_{i=1}^N K(x, q_i) p_i. \quad (9)$$

Пусть пространство M содержит N точек, описывающих объект (кривую) подлежащий деформации. Рассмотрим действие

$$S = \int_0^1 l(u, v) dt \text{ с лагранжианом}$$

$$l(u, v) = \|u\|_g^2 + 1/\sigma^2 \sum_{k=1}^N |v_k|^2 =$$

$$= \|u\|_g^2 + 1/\sigma^2 \sum_{k=1}^N |\dot{q}_k - u(q_k)|^2, \quad (10)$$

который не зависит от n . Тогда:

$$\delta l / \delta u = 2L_g u \text{ и } \delta l / \delta v = 2/\sigma^2 (v_1, \dots, v_N).$$

Из уравнения (2): $\delta l / \delta u + \delta l / \delta v \diamond n = 0$,
имеем $\delta l / \delta v \diamond n = -2/\sigma^2 \sum_{k=1}^N v_k \cdot \delta(q - q_k)$, поэтому:

$$L_g u = \sigma^{-2} \sum_{k=1}^N v_k \cdot \delta(q - q_k), \quad (11)$$

откуда $u(q) = \sum_{k=1}^N K(q, q_k) p_k$, где $p_k = \sigma^{-2} v_k$.

Из уравнения (3):

$$\dot{p}_k + Du(q_k)^T p_k = \dot{p}_k +$$

$$+ \sum_{l=1}^N \nabla_1 K(q_k, q_l) p_k^T p_l = 0; k = 1, \dots, N, \quad (12)$$

где $\nabla_1 K$ представляет собой градиент функ-

ции $(q_k, q_l) \rightarrow K(q_k, q_l)$ по отношению к q_k . Если для оператора L_g выбрать функцию Грина в виде: $K(q_k, q_l) = e^{-\alpha^{-1}|q_k - q_l|^2}$, то:

$$\nabla_1 K(q_k, q_l) = -2\alpha^{-1}(q_k - q_l) e^{-\alpha^{-1}|q_k - q_l|^2}.$$

Из уравнения (4): $\dot{n} = v + un$ и обозначения: $n = (q_1, \dots, q_N)$, получим:

$$\dot{q}_k = v_k + u(q_k) = u(q_k) + \sigma^2 p_k; k = 1, \dots, N.$$

Перепишем систему (2, 3, 4) для точечных множеств в виде:

$$\begin{cases} \dot{q}_k = u(q_k) + \sigma^2 p_k; k = 1, \dots, N, \\ u(q) = \sum_{k=1}^N K(q, q_k) p_k, \\ \dot{p}_k + \sum_{l=1}^N \nabla_1 K(q_k, q_l) p_k^T p_l = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Рассмотрим применение метода градиентного спуска в задаче нахождения метаморфизма $g_{0 \rightarrow 1} \cdot q_k(0) \rightarrow q_{0 \rightarrow 1}(1)$ при минимизации функционала

$$1/\sigma^2 \sum_{k=1}^N [q_k(1) - g_{0 \rightarrow 1} \cdot q_k(0)]^2 \rightarrow \min$$

выбором начальных значений вектора: $p(0) = (p_1(0), \dots, p_N(0))$.

Пример 1. Рассмотрим пример нахождения энергии деформации [1, 2] на основе интегрирования дифференциальных уравнений (13) при метаморфизме квадрата в окружность, которые задаются 16 точками, равномерно расположенными на кривой.

Пример 2. Рассмотрим пример нахождения энергии деформации [1, 2] на основе интегрирования дифференциальных уравнений (11) при метаморфизме образов греческих строчных символов $\alpha, \delta, \gamma, \rho, \sigma$, которые представлены 16 точками равномерно расположенными на кривой описывающей символ. Интегрирование уравнений проводилось при $\alpha = 10; \sigma^2 = 0$. Энергия вычислялась на основе определения действия $S = \int_0^1 l(u, v) dt$ с лагранжианом $l(u, v)$.

Таблица 1 – Пример деформации квадрата в окружность

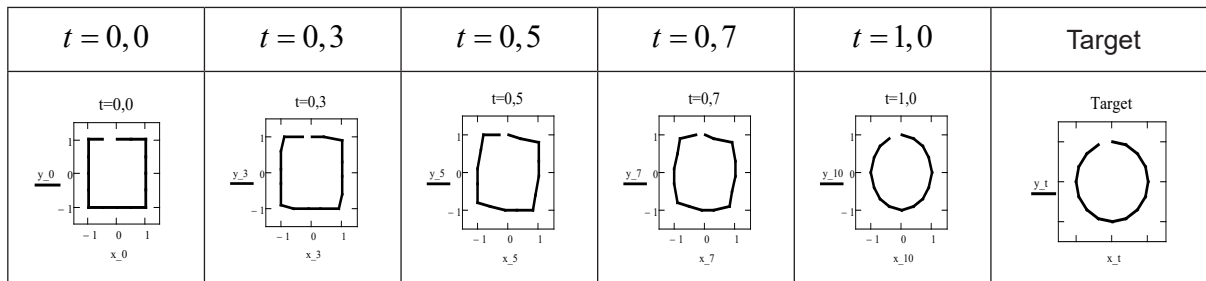


Таблица 2 – Энергии деформации при метаморфизме образов греческих строчных символов $\alpha, \delta, \gamma, \rho, \sigma$

	α	δ	γ	ρ	σ
α		31.9	28.6	37.4	26.2
δ	31.4		21.6	39.1	14.9
γ	26.3	21.9		46.7	15.2
ρ	38.2	38.9	46.8		44.3
σ	26.1	15.0	14.9	44.5	

Из таблицы следует, что наименьшую энергию деформации требуют метаморфизмы $\sigma \Leftrightarrow \delta$ и $\sigma \Leftrightarrow \gamma$; наибольшую энергию деформации требуют метаморфизмы $\rho \Leftrightarrow \sigma$ и $\rho \Leftrightarrow \gamma$; метаморфизмы образов одинаковых символов не требуют энергии деформации.

МЕТАМОРФИЗМ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рассмотрим случай, когда N – пространство гладких функций (изображений) $\Omega \rightarrow \mathbf{R}$ с действием $(g, n) \rightarrow n \circ g^{-1}$. Простой случай метаморфизма можно получить с помощью

действия: $S = \int_0^1 l(u, v) dt$ с лагранжианом $l(u, v) = \|u\|_g^2 + \frac{1}{\sigma^2} |v|^2$. Если $w \in \mathfrak{g}$ и n представляет собой изображение, $wn = -\nabla n^T w$, так что $(\delta l / \delta v \diamond n, w) = (\delta l / \delta v, \nabla n^T w)$. Обозначим $z = v / \sigma^2$. Тогда первое уравнение:

$$L_g u_t = -z_t \nabla n_t. \quad (14)$$

Так как $u \dot{a}(\delta l / \delta v)$ определяется из $(u \dot{a}(\delta l / \delta v), \omega) = (\delta l / \delta v, u \omega) = 1 / \sigma^2 (\text{div}(vn), \omega)$ то получаем второе уравнение:

$$\dot{z}_t + \text{div}(z_t u_t) = 0. \quad (15)$$

Перепишем уравнения эволюции (2, 3, 4) в виде:

$$\begin{aligned} \dot{z} + \text{div}(zu) &= 0, \\ \dot{n} + \nabla n^T u &= \sigma^2 z, \\ L_g u &= -z \nabla n \Rightarrow u(x) = \\ &= - \int_{\Omega} K(x, y) z(y) \nabla n(y) dy; x, y \in \Omega. \end{aligned} \quad (16)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрена задача сравнения двух изображений – исходного и целевого, представляющих собой кривые заданные соответствующим каждой набором точек в двумерном пространстве. Задача решается путём нахождения диффеоморфизма, который

позволит совместить точки деформируемого изображения с точками шаблона. В основе решения лежит метод построения функционала, характеризующего эволюцию диффеоморфизмов изображения от его начального состояния до конечного и «штраф» за отклонение траекторий движения точек изображения от требуемых. При использовании вариационного исчисления задача приводится к обыкновенным дифференциальным уравнениям первого порядка Эйлера-Пуанкаре. Разработан алгоритм решения уравнения диффеоморфного преобразования на основе метода градиентного спуска.

Предложенный метод сравнения изображений может быть распространен на совокупность кривых, например, векторные изображения, в том числе предварительно векторизованные цветные растровые изображения, проекции трехмерных изображений и т.п.

Рассмотренная задача сравнения двух изображений может быть использована при оптимальном метаморфизме изображений, когда отсутствует точное соответствие между исходным и целевым изображениями. Разработанные в работе алгоритмы могут быть применены в биометрических системах, системах классификации изображений и объектов, системах машинного зрения, при распознавании образов и объектов. Например, для идентификации человека по изображению лица, отпечаткам пальцев, рисункам ладоней рук, ри-

сункам вен ладони или пальца, подписям и т.п.

Отличительной особенностью предлагаемого метода метаморфизма изображений является то, что функционал, характеризующий диффеоморфизм изображений, является оптимальным и уникальным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Holm D.D., Schmah T., Stoica C. Geometric mechanics and symmetry: from finite to infinite dimensions. – Oxford University Press, 2009.
2. Holm D.D., Trounev A., Younes L. The Euler-Poincaré theory of metamorphosis // Quarterly of Applied Mathematics. – 2009. – Т. 67. – №. 4. – С. 661-685.
3. Younes L., Arrate F., Miller M. I. Evolutions equations in computational anatomy // NeuroImage. – 2009. – Т. 45. – №. 1. – С. S40-S50.
4. Arnold V. Sur la géométrie différentielle des groupes de Lie de dimension infinie et ses applications à l'hydrodynamique des fluides parfaits // Annales de l'institut Fourier. – 1966. – Т. 16. – №. 1. – С. 319-361.
5. Chukanov S. N. Definitions of invariants for n-dimensional traced vector fields of dynamic systems // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2009. – Т. 19. – №. 2. – С. 303-305.
6. Чуканов С. Н. Формирование инвариантов при визуализации векторных полей, определяемых интегральными кривыми динамических систем // Автометрия. – 2011. – Т. 47. – №. 2. – С. 58-63.

CONSTRUCTING METAMORPHOSIS OF IMAGES FOR THE OBJECTS ON THE BASIS OF SOLVING EULER-POINCARÉ EQUATIONS

S. V. Leichter

Annotation. This work considers comparison of two images (original and target) that represent curves correspondingly shaped of set of points in two-dimensional space. The problem can be solved by finding the initial image of diffeomorphism that would allow to overlap matching points of deformable image with template's points. Solution to the problem is based on the method of constructing a minimized functionality, which characterizes evolution process of the diffeomorphic transformation of the image from initial to the final one and "penalty charge" for the deviation of the image path from the required trajectory. An algorithm for solving the diffeomorphic transformation equation is developed on the basis of the gradient descent method. The considered problem of comparing two images can be used for constructing optimal metamorphosis of images, when there is no exact correspondence between the target image and the final image of the diffeomorphism. The designed algorithms can be used through a biometrical system, in images and subjects classification systems, machine vision systems, images and patterns recognition, tracking systems.

Keywords: pattern recognition, Euler-Poincaré equation, diffeomorphism, metamorphosis approach.

1. Holm D.D., Schmah T., Stoica C. Geometric mechanics and symmetry: from finite to infinite dimensions. – Oxford University Press, 2009.
2. Holm D.D., Trounev A., Younes L. The Euler-Poincaré theory of metamorphosis // Quarterly of Applied Mathematics. – 2009. – T. 67. – No. 4. – C. 661-685.
3. Younes L., Arrate F., Miller M. I. Evolutions equations in computational anatomy // NeuroImage. – 2009. – T. 45. – No. 1. – C. S40-S50.
4. Arnold V. Sur la géométrie différentielle des groupes de Lie de dimension infinie et ses applications à l'hydrodynamique des fluides parfaits // Annales de l'institut Fourier. – 1966. – T. 16. – No. 1. – C. 319-361.
5. Chukanov S. N. Definitions of invariants for

6. Chukanov S. N. Formation of invariants in the visualization of vector fields determined by integral curves of dynamical systems // *Autometry*. – 2011. – T. 47. – №. 2. – С. 58-63.

Лейхтер Сергей Владимирович (Омск, Россия) – аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» ФГБОУ ВО «СиБАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, email: leykhter@mail.ru).

Leykhter Sergey Vladimirovich (Omsk, Russian) – postgraduate of the Department “Automated Systems of Information Processing and Management” State Automobile and Highway University “SibADI” (644080, Omsk, Mira, 5, email: leykhter@mail.ru).

РАЗДЕЛ V. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 322.025

КУЛЬТУРА И ИНСТИТУТЫ В ЭВОЛЮЦИОННОЙ ЭКОНОМИКЕ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ

В.В. Бирюков¹, Е.В. Романенко²

¹Омская гуманитарная академия, Россия, г. Омск

²Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В данной работе предлагается методология исследования взаимосвязи культуры и институтов в экономических процессах, основанная на критическом анализе методологических принципов индивидуализма и холизма, которая предусматривает парадигмальное переосмысление связи экономической культуры и институализированных форм развития экономики. Культурно-ценностная система интерпретируется как особая составляющая экономической реальности, обуславливающая формирование институциональной оболочки. Показано, что культурно-ценностное и институциональное структурирование экономики выступает как поиск компромисса взаимодействующих разнородных субъектов, в рамках которого исходя из когнитивно-ментальных способностей и переговорной силы они достигают согласия относительно того, что создаваемые нормы и правила обеспечивают формирование справедливого баланса взаимодополняющих этических ценностей с учетом условий их осуществления. Обоснована актуальность и возрастание значимости реализации этико-ориентированного подхода при формировании институциональных практик и решении стратегических задач.

Ключевые слова: методологический индивидуализм, методологический холизм, экономика, этика, культурно-ценностная система, институциональная система.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие экономической науки в прошедшем столетии сопровождалось ее разделением на две сосуществующие и слабо взаимодействующие части – мейнстрим и альтернативные теории. При этом она приобрела сложную структуру в результате дифференциации предметной области и фрагментации знаний, охватывающих различные аспекты экономической жизни и отличающихся методологическим статусом и методами исследований, степенью достоверности и практической значимости. Вместе с тем ни одной из конкурирующих исследовательских программ не удалось предложить целостную и достаточно полную картину экономики.

Многие современные исследователи исходят из признания значимости влияния культуры и институтов на экономическое развитие

стран и предпринимательских структур. Обширные имперические исследования показывают, что переменные, характеризующие культуру, определяют различные экономические решения. Исследователи экономики культуры и институтов, указывая на раннюю стадию развития данного направления науки, рассматривают культуру и институты как важные переменные, между которыми существует сложная связь. При этом нет консенсуса относительно того, как, где и в каком смысле культура и институты имеют значения.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ КУЛЬТУРЫ И ИНСТИТУТОВ

Разработку научной картины экономической реальности и соответствующей системы принципов, на которые может опираться эко-

номическая наука, изучающая свой аспект целостного мира социальной реальности, изначально определяет проблема соотношения понятий «культура» и «институты». Отправная точка круговой и кумулятивной причинности – анализ роли культуры в социально-экономическом процессе. Необходимо осознать, сколь важны идеология, ценности, различные нормы и обычаи. Мы сможем четко сформулировать стилизованные факты на уровне техники, если поймем причинные связи между оценкой действительности экономическими агентами и отношениями между ними [1].

Современная общественная практика актуализировала новый класс сложных социально-экономических проблем, масштаб которых превышает гносеологические возможности частных наук и в связи с этим возрастает значимость исследования общества как саморазвивающегося, сложноорганизованного целого, фиксируемого категорией «культура». Термин «культура» до сих пор в экономических исследованиях остается неопределенным, во многих работах культура рассматривается как феномен, выраженный в ценностях, предпочтениях или убеждениях. В социологической и философско-культурологической литературе под влиянием «поворота к культуре» в последние десятилетия достаточно широко распространено понимание культуры как социокода, сложной, исторически развивающейся системы надбиологических программ, выраженных в символических формах, с помощью которых хранятся, транслируются и генерируются знания и представления о мире, используемые при решении практических проблем и адаптации к меняющейся материальной и социальной среде. Так, К. Гирц отмечает, что культура – это «исторически передаваемая система знаний, воплощенных в символах; система унаследованных представлений, выраженных в символических формах, посредством которых люди передают, сохраняют и развивают свое знание о жизни и отношении к ней» [2]. Экономическая культура является частным видом культуры, ее подсистемой, вбирающей в себя все многообразие представлений об экономике.

В соответствии с методологией индивидуализма в «оптике» институционализма рационального выбора экономические взаимодействия объясняются исходя из того, что субъект служит главной отправной точкой научного анализа, являясь рациональным актором. Субъекты на основе вмененных предпочтений осуществляют выбор из альтернативных вариантов набора переменных, сопоставляя

выгоды и издержки с учетом культуры и имеющихся институтов, которые определяют уровень трансакционных издержек, уменьшают неопределенность и позволяют координировать действия. В данной версии неоинституционализма культура и институты выступают как правила игры, формирующие ограничения и стимулы, они не влияют на предпочтения субъектов, но воздействуют на процесс рационального выбора и являются не эндогенной причиной, мотивирующей поведение, а экзогенными ограничителями, факторами, характеризующими существенные обстоятельства, влияющие на поведение субъекта.

Институциональные версии методологического холизма исходят из признания ключевой роли культуры и институтов в интерпретации экономических процессов разных уровней и сфер экономики, поскольку люди действуют на основе усвоенных норм и ценностей. При этом фокусируется внимание на институт как устойчивый способ думать и действовать, присущий определенной группе людей или даже целому народу. Однако в рамках данного подхода недооценивается или даже игнорируется роль экономических субъектов в формировании и развитии институтов. Проблема институционального холизма состоит в абсолютизации значимости культурной и институциональной среды, что создает представление о внешней заданности ценностей [3].

Сегодня в утвердившихся представлениях границы между культурой и институтами остаются весьма размытыми, что способствует использованию разных способов классификации институализированных форм экономического поведения. Так, в рамках расширительной трактовки институтов в качестве основных типов рассматриваются: ментальные – стереотипы мышления, ценности, когнитивные схемы и т.д.; неформальные – обычаи, традиции, кодексы и др.; формальные – законы, контракты и т.д.; функциональные – статусные роли и функции; структурные – организованные формы и модели трансакций [4].

Вместе с тем Д. Норт определяет институты как «правила игры» или «созданные человеком ограничительные рамки, которые организуют взаимоотношения между людьми» [5]. Они являются экзогенными переменными и состоят из формальных ограничений (правила, законы, конституции), которые создаются государством, и неформальных ограничений (нормы поведения, обычаи, добровольные кодексы), которые представляют собой часть культурного наследия.

Как полагают А. Алесина и П. Джулиано, проблема многих определений заключается в том, что согласно им институты слишком сильно пересекаются с культурой, так как «нормы» и «обычаи» используются в определениях и институтах, и культуры. Когда мы описываем свои измерения и рассматриваем литературу, посвященную взаимодействию культуры и институтов, мы понимаем под культурой ценности и убеждения, можно сказать, неформальные правила, а под институтами – формальные институты. Этот подход использован в большинстве эмпирических работ, где авторы пытаются разделить две концепции. С точки зрения семантики мы находим контрпродуктивным и сбивающим с толку отнесение культуры (ценностей и убеждений) к неформальным институтам. Путаницу создает навешивание ярлыка «институт» на все. Мы предпочитаем термин «культура» термину «неформальные институты», находим его более подходящим и вразумительным [6].

Все новые институциональные теории исследуют то, как конструируются локальные социальные порядки, которые могут быть названы «полями», или «играми», новые институциональные течения основываются на теории социального конструктивизма – в том смысле, что они рассматривают создание институтов как результат социального взаимодействия между акторами, сталкивающимися друг с другом на полях или аренах [7]. Социальный конструктивизм рассматривает культуру как зарождающуюся систему разделяемых смыслов, которые управляют перцепцией, коммуникацией и действиями.

В противоположность логике материалистического детерминизма и рациональных максимизирующих полезность акторов конструктивистский подход предлагает использовать логику коммуникативного действия, в рамках которой во взаимодействие вступают ценностно-рациональные субъекты, культурно-ценностное восприятие мира которых определяется тем, как они его понимают. В процессе коммуникативных практик люди обмениваются идеями и формируют совместное знание, лежащее в основе достигнутого согласия о ценностях и институтах; идеи приобретают особую значимость, когда акторы начинают верить в их ценность и обоснованность. В данной логике объяснений институционализация предполагает легитимацию, благодаря этому институциональный порядок воспринимается как оправданный, а также подчеркивается властная природа социальных порядков. При

этом властные иерархии порождают конфликты и борьбу на «аренах» и «полях» взаимодействий, что приводит к институциональным изменениям.

ОБОСНОВАНИЕ И РАСКРЫТИЕ ЦЕЛОСТНОГО ВИДЕНИЯ СИСТЕМНОЙ ВЗАИМОСВЯЗИ КУЛЬТУРЫ И ИНСТИТУТОВ В ЭКОНОМИКЕ

Конкурирующие теории, исходящие из методологического индивидуализма и холизма, не способны объяснить поведение экономического субъекта, национальной экономики и глобальных рынков. Удовлетворительное решение любой экономической и институциональной проблемы требует выхода за рамки данных методологий и поиска новых рубежей. Корректное инкорпорирование культурно-ценностного контекста в экономическую систему может стать таким новым рубежом в познании экономической реальности, позволяющим рассматривать изменения в экономике и ее институциональном устройстве как проявление культурного процесса и развития системы ценностей как ядра культуры [3; 8]. Как отмечает А. Кламер, сегодня намечается альтернатива позитивистскому видению экономики, ориентированного исключительно на теорию рационального выбора, эта альтернатива в противоположность «дороге выбора» выступает как «дорога ценностей» [9].

При конструировании целостного видения процессов формирования и изменения коммуникативных практик, позволяющего преодолеть концептуальные затруднения, связанные с разграничениями культурных и институциональных факторов и пониманием механизмов их влияния на данные практики. Важно принимать во внимание, что различные формы взаимодействия акторов разного типа и их институализированных практик выступают проявлением их когнитивно-ценностной деятельности; с когнитивной точки зрения эти формы представляют собой продукт ментальных конструкций, а институты как устойчивые связи экономических взаимодействий выступают особыми компонентами культуры, ее проявлением.

В связи с вышеизложенным при анализе экономических процессов следует исходить из наличия двух основополагающих уровней факторного пространства, которые связаны с субъективно-познавательной и структурными детерминантами. Первый уровень выступает в виде экономико-культурного пространства

как сферы человеческого сознания, в которой формируются символические способы осмысления и оценивания действительности, на основе накопленного опыта и генерирования знаний создаются новые индивидуальные и коллективные модели и представления об экономике, системе ценностных координат, этико-экономически приемлемых нормах поведения и институциональных формах. Второй уровень характеризует институциональный аспект ценностно-ориентированных взаимодействий, который складывается на основе достигнутого согласия о ценностях нормах и правилах, регулирующих статусные роли и функции акторов, а также коммуникативные практики в различных сферах экономической деятельности. Как пишет П. Бергер, «экономические институты существуют не в вакууме, а в контексте или, если хотите, в ткани социальных и политических структур, культурных форм и, безусловно, в структуре самосознания: в системе ценностей, идей, верования» [10].

Для прояснения механизмов, обеспечивающих создание системно-связанных норм и правил и согласование интересов различных субъектов, находящихся в иерархических отношениях, при которых одни управляют другими, требуется переосмысление понятия культуры на основе определения роли морали как особого способа влияния культуры на коммуникативные практики. В связи с этим важно принимать во внимание, что в прошлом веке метаэтика, изучающая фундаментальные аспекты моральной проблематики, в результате изменения мировоззренческих рамок и методологических установок расширила проблемное поле за счет отказа от упрощенных представлений и обращения к проблематике места и роли морали в структуре реальности. Сегодня разнообразные метаэтические теории разделились на два основных направления: широкое распространение получил моральный эксклюзивизм, основанный на идеи о потусторонней природе морали и ее нейтральности; однако все более популярным становится моральный инклюзивизм, рассматривающий мораль в качестве составного элемента единой реальности. Вместе с тем в рамках данных направлений сложились многочисленные различия в исследовательских позициях [11].

В результате накопленного обширного эмпирического и теоретического материала в конце XX в. явно обнаружилось односторонность альтернативных направлений исследования истории: линейно-стадиального и

радикально релятивистского; широкое распространение получили подходы, ориентированные на выработку парадигмального видения, позволяющего содержательно интерпретировать развитие отдельных социокультурных систем как формы проявления универсальных закономерностей, присущих разным сферам человеческой деятельности [12]. Существование данных закономерностей связано с наличием в ядре культуры каждого общества прошедшей тест на транслируемость во времени и пространстве системы этико-культурных ценностей, формулирующих общие конструктивные основы взаимоотношения людей. Вместе с тем сегодня еще не сложился удовлетворительный подход к анализу этой универсальной системы регуляторов человеческого общежития. Включенный в культурное ядро набор универсальных этических правил важно интерпретировать не в виде неких монистических установок, а виде динамического по своему содержанию этического баланса, характеризующего связи взаимодополняющих парных оппозиций в рамках, которых складывается та или иная форма единства противоположностей, выражающая качественное своеобразие взаимодействия субъектов и общества в данной социокультурной системе [3].

Осуществляя те или иные действия, определенные рамочными условиями, акторы, с одной стороны, не могут игнорировать материальные институциональные и культурные контексты экономической реальности, с другой стороны их действия основываются на накопленных знаниях и сформировавшихся ценностных установках и не могут не учитывать цели и мотивы поведения тех, с кем они взаимодействуют. В связи с этим при взаимодействии в рамках экономической системы, развивающейся в условиях неизвестного будущего, для субъектов важным становится конструировать сбалансированную систему целей поведения, позволяющую получить каждому из них взаимоприемлемую часть общей выгоды, возникающей от синергетического эффекта их совместной деятельности. Выбор форм и способов экономических взаимодействий, а также их результативность зависят, во-первых, от уровня доверия, который складывается под влиянием накопленного субъектами нематериального капитала – экономико-культурного, включающего в себя моральный капитал (совесть) и интеллектуально-коммуникативный капитал, и отношенческого капитала, на основе которых складывается репутационный капитал; во-вторых, от способности субъектов

конструировать ценностно-институциональные соглашения, позволяющие на справедливой и взаимовыгодной основе создавать добавленную ценность, возникающую от синергетического эффекта и инноваций, что связано с использованием методов «мягкой», «умной» силы.

Сложившаяся в данных структурных условиях модель культурно-ценностной системы выступает как смысло-креативное ядро; она формирует вокруг себя уникальную институциональную систему, которая возникает в результате противоречивых взаимодействий разнородных субъектов в конкретно-временных условиях. На основе разделяемых этико-культурных представлений происходит коллективное осмысление используемых и создаваемых на разных уровнях экономики норм и правил, их сканирование и фильтрация с учетом влияния на получаемые выгоды от применения технологических структур в условиях разделения труда и кооперации, а также их легитимация и отбор институциональных структур и форм. Экономическая реальность представляет собой множество явных и скрытых форм проявления властных отношений, возникающих в результате взаимодействия между неравными силами, доминирующими и доминируемыми субъектами. В связи с этим складывается динамичная система власти, которая характеризуется распределением властных полномочий и иерархической упорядоченностью, а также вызванными противоречивостью устройства экономики своеобразными процессами борьбы за власть между разными группами, которые стремятся изменить свое положение к более лучшему.

Между властью и институтами складывается определенная взаимосвязь. Как отмечает Н. Флигстан, «правила взаимодействия и распределения ресурсов действуют как источники власти, а в сочетании с моделью акторов выступают в качестве фундамента, на котором происходит конструирование и воспроизводство институтов» [7]. При этом с одной стороны, легитимные нормы и правила взаимодействия и распределения ресурсов ограничивают и регулируют властные отношения, определяют права и ответственность каждой из сторон, иерархию и баланс власти, с другой стороны, формирование любого института происходит под влиянием переговорной силы акторов и их властных полномочий, что часто сопровождается тем или иным дисбалансом в распределении частных выгод. Вместе с тем действия властей становятся легитимными

лишь тогда, когда они воспринимаются как оправданные, обоснованные и справедливые. Чем больше избыток или недостаток власти в обществе, тем более значительными становятся негативные последствия дисбаланса властных отношений и их деформации. В свою очередь, чем выше уровень доверия к власти, тем прочнее ее позиции и более широкий набор инструментов она может эффективно использовать.

В условиях инновационной конкуренции возрастает значимость своевременного изменения институциональных и властных систем с учетом повышения роли нематериальных активов, партнерских, кооперативных, сетевых и кластерных связей. Это усиливает влияние этико-культурных факторов на формирование траектории развития экономики, предпринимательских структур и систем.

В рамках предполагаемой парадигмы, предусматривающей этически ориентированное формирование властных отношений и институциональных форм, обеспечивающее сбалансированное воплощение принципов справедливости и взаимовыгодности в горизонтальных и вертикальных взаимодействиях, возникает новая логика механизмов развития экономики и ее конкурентных преимуществ. Рассмотрение культуры и институтов как эндогенных факторов экономики, а акторов не только как носителей ценностей, но и их творцов, позволяет отказаться от интерпретации интересов субъектов как экзогенно заданных, которые утрачивают гипертрофированную значимость. Это приводит к тому, что в фокусе исследований появляется реальное многообразие мотивов поведения субъектов и ценностно-когнитивных стратегий использования ресурсов влияния на изменение конфигурации власти и институционального устройства, формальных и неформальных практик, а также организованных моделей взаимодействий. Преодоление концептуальных затруднений устаревших парадигм может способствовать поиску совершенно новых закономерностей изменений институциональной экономики и властных отношений, связанных с освобождением субъектов от деформированного менталитета, появлением нового набора ценностей и новых организационно-функциональных форм.

Навязываемая российской экономике неолиберальная модель, основанная на абсолютизации значимости монитаристских методов, и разрабатываемые в ее рамках концепции, программы, стратегии, бюджетные проекты

и другие, устремленные в будущее документы, воплощающие неадекватные ценностные представления и одностороннее восприятие меняющейся экономической реальности, не способны радикально изменить ситуацию в лучшую сторону. Ложные идеи и ценностные установки, ориентирующие на формирование институциональной и властной систем, обуславливающих рентоориентированную направленность развития экономики, крайне низкий уровень инвестиционной, инновационной, деловой активности и высокий уровень нелегальной деятельности, является первопричиной вступления экономики в период неустойчивого близкого к кризисному типу развития; они уведут общество от понимания подлинных причин накопившихся проблем и путей их решения. К ложным идеям можно отнести попытки замены утвердившейся неоллиберальной парадигмы, опирающейся на постулаты рыночного фундаментализма и монетаризма, другой крайностью – парадигмой, абсолютизирующей роль духовно-нравственных ценностей альтруистического характера, затмевающей смысл этико-экономической парадигмы, ориентированной на реализацию прагматического подхода, предполагающего поиск и конструирование таких форм общечивилизационных культурных и этических ценностей, которые соответствуют вызовам, угрозам и рискам меняющейся картины мира.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В экономике каждой страны складывается исторически подвижное ценностно-институциональное соответствие (равновесие), способное по-разному поддерживать взаимосвязи и взаимодействия субъектов, а также различным образом влиять на динамику и направленность экономических перемен. Процессы трансформации российской экономики, происходящие на протяжении последних десятилетий, сопровождались весьма противоречивыми культурно-ценностными, институциональными и структурно-технологическими изменениями, вызывавших формирование неустойчивого полупериферийного положения экономики в сочетании с элементами процессов модернизационных срывов и демодернизации, архаизации ценностных стереотипов и формирования квазитрадиций в условиях системных изменений базовых ценностей, что закономерно сдерживает рост инновационного потенциала. В условиях инновационной конкуренции и повышения роли нематериаль-

ных активов усиливается значимость использования этико-экономической парадигмы для разработки эффективных подходов, отвечающим ценностно-институциональным вызовам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О'Хара, Ф. Современные принципы неортодоксальной политической экономики / Ф. О'Хара // Вопросы экономики. – 2009. – № 12. – С. 38-37.
2. Гирц, К. Интерпретация культур / К. Гирц. – М.: РОССПЭН, 2004. – 560 с.
3. Бирюков, В.В. Ценностно-рациональное поведение и системно-эволюционная парадигма структуризации экономики / В.В. Бирюков // Вестник СибАДИ. – 2016. – №3 (49). – С. 119-132.
4. Фролов, Д. Методологический институционализм 2.0 : от институтов к институциональным конфигурациям / Д. Фролов // Вопросы экономики. – 2016. – № 7. – С. 147-160.
5. Норт, Д. Институты, институциональные изменения и функционирование экономики / Д. Норт ; пер. с англ. А.Н. Нестеренко ; науч. ред. Б.З. Мильнер. – М.: Фонд экономической книги «Начала», 1997. – 180 с.
6. Алексина, А., Джулиано, П. Культура и институты. Часть I / А. Алексина, П. Джулиано // Вопросы экономики. – 2016. – № 10. – С. 82-111.
7. Флигстин, Н. Поля, власть и социальные навыки: критический анализ новых институциональных течений / Н. Флигстин // Экономическая социология : Новые подходы к институциональному и сетевому анализу. – М.: РОССПЭН, 2002. – С.119-156.
8. Романенко, Е.В. Малое и среднее предпринимательство в условиях модернизации российской экономики / Е.В. Романенко, В.В. Бирюков // Вестник СибАДИ. – 2015. – № 2 (42). – С. 158-164.
9. Klammer A.A. Pragmatic View on values in Economics // Journal of Economic Methodology. June. – 2003. – V. 10 (2). – pp. 192-212.
10. Бергер, П. Капиталистическая революция (50 тезисов о процветании, равенстве и свободе) / П. Бергер. – М., 1994. – 31 с.
11. Левин, С.М. Мораль, метафизика и реальность / С.М. Левин // Вопросы философии. – 2013. – № 7. – С. 144-153.
12. Бирюков В.В. Универсальное и локальное в развитии цивилизации: роль культурно-ценностных факторов / В.В. Бирюков // Инновационная экономика и общество. – 2016. – № 3. – С. 110-116.

V.V. Biryukov, E.V. Romanenko

Abstract. The methodology of the study of the relationship between culture and institutions in economic processes is proposed. Cultural-value system as a special component of the economic reality, contributing to the formation of the institutional shell is interpreted. Cultural values and institutional structuring of the economy acts as a compromise of interacting, heterogeneous entities at different levels are show. The relevance and increasing importance of the realization of ethical-oriented approach in the formation of institutional practices and the solution of strategical problems are justified.

Keywords: *methodological individualism, methodological holism, economy, ethic, cultural and valuable system, institutional system.*

REFERENCES

1. O'hara, F. Contemporary principles of heterodox political economy / F. O'hara // Questions of economy. – 2009. – № 12. – pp. 38-37.
2. Geertz, C. the Interpretation of cultures / C. Geert. – Moscow : ROSSPEN, 2004. – 560 p.
3. Biryukov, V.V. Value-rational behavior and the systemic-evolutionary paradigm the structure of the economy / V.V. Biryukov // Vestnik SibADI. – 2016. – № 3(49). – pp. 119-132.
4. Frolov, D. Methodological institutionalism 2.0 : from institutions to institutional configurations / A. Frolov // problems of Economic. – 2016. – № 7. – pp. 147-160.
5. Nort, D. Institutes, institutional changes in the functioning of the economy / D. Nort ; per. from English. A.N. Nesterenko ; scientific. the editorship of B.Z. Milner. – Moscow : Foundation of economic book "Nachala", 1997. – 180 p.
6. Aleksin, A., Giuliano, P. Culture and institutions. Part I / A. Alexin, P. Giuliano // Problems of Economics. – 2016. – № 10. – pp. 82-111.
7. Fligstein, N. Fields, power and social skill: a critical analysis of new institutional flows / N. Fligstein // Economic sociology : New approaches to institutional and network analysis. – Moscow : ROSSPEN, 2002. – pp.119-156.
8. Romanenko E.V. Small and average business in conditions of modernization of the Russian economy / E.V. Romanenko, V.V. Biryukov // Vestnik SibADI. – 2015. – №2 (42). – pp. 158-164.
9. Klamer A.A. Pragmatic View on values in Economics // Journal of Economic Methodology

gy. June. – 2003. – V. 10 (2). – pp. 192-212.

10. Berger, P. Capitalist revolution (50 theses on prosperity, equality and freedom) / P. Berger. – Moscow, 1994. – 31 p.
11. Levin, S.M. Morality, metaphysics and reality / S.M. Levin // The problems of philosophy. – 2013. – № 7. – pp. 144-153.
12. Biryukov V.V. Universal and the local in the development of civilization: the role of cultural and value factor / V.V. Biryukov // Innovation economy and society. – 2016. – № 3. – pp. 110-116.

Работа подготовлена при поддержке гранта РГНФ и Министерства образования Омской области (проект 16-12-55015/16).

Бирюков Виталлий Васильевич – доктор экономических наук, профессор, академик Российской академии социальных наук, ведущий научный сотрудник ЧУОО ВО «Омская гуманитарная академия». Основное направление научных исследований – социально-экономические механизмы развития предпринимательских структур в инновационной экономике и модернизации транспортного комплекса. Имеет более 260 опубликованных работ. e-mail: ecotrud@omga.su

Романенко Елена Васильевна – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Общая экономика и право», ФГБОУ ВО «СибАДИ». Основные направления научной деятельности: современные механизмы взаимодействия государства и малого предпринимательства в условиях модернизации российской экономики. Общее количество опубликованных работ – 126. e-mail: romanenko_ev@sibadi.org

УДК: 316.1; 338.1

КРАУДФАНДИНГ: ПОТЕНЦИАЛ И РИСКИ ВНЕДРЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ РЫНКА В УСЛОВИЯХ КОНТУРОВ МИРОВОГО ФИНАНСОВОГО КРИЗИСА

А.А.Грахов

ЧУОО ВО «Омская гуманитарная академия», Россия, г. Омск

Аннотация. Статья посвящена процессу привлечения финансов – краудфандингу. Основываясь на показателях макро - характеристик экономики в стране и сопоставляя риски развития экономики и внедрения краудфандинга, в статье обоснован поиск альтернативных путей финансирования рынка через текущий анализ состояния экономики России; соотношение причин снижения темпов отечественной экономики; изменений структуры роста ВВП России, государственных мер ее стимулирования и рисков российской экономики. Альтернативный финансовый рынок представлен прогрессивными зарубежными краудфандинговыми платформами и структурой российского рынка краудфандинга по обороту; представлены и обозначены цели, пути развития экономики, критерии классификации и границы рисков альтернативного финансирования, динамика его развития.

Ключевые слова: инвестиции, государственные меры стимулирования экономики, альтернативные финансовые рынки, критерии классификации рисков и преимуществ краудфандинга, краудфандинговые платформы социальной направленности.

ВВЕДЕНИЕ

Гипотеза исследования. Применение краудфандинга как инструмента альтернативного финансирования самоорганизующихся систем в условиях кризисных явлениях возможно путем выделения основных макро - характеристик экономики в стране его применения, рисков развития экономики и внедрения краудфандинга, государственных мер стимулирования экономики. **Объектом работы** выступили инструменты и характеристики финансовых технологий краудфандинговой системы, государственные меры стимулирования экономики на основе краудфандинга. **Предмет исследования** составили многоуровневые риски внедрения краудфандинговых систем в процессе применения альтернативного финансирования социально значимых проектов для малого и среднего бизнеса. Целью работы является обоснование применения доверительного краудфандинга как альтернативного пути финансирования рынка.

I. ОБОСНОВАНИЕ ПОИСКА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПУТИ ФИНАНСИРОВАНИЯ РЫНКА

Современные кризисные явления в мировой экономике содействуют решению насущных проблем страны путем созидательных инициатив, эволюции социальных и хозяй-

ственных взаимоотношений, альтернативных финансовых рынков, самоорганизующихся систем народной экономики, предоставляющих возможность исключения давления на социум влияния государства и корпораций. Истинной причиной снижения темпов отечественной экономики является проявление системного кризиса, выраженное в неустойчивости банковской системы, замедлении роста потребления и сокращении инвестиций, отсутствии стимула к инновациям и слабом институциональном развитии. Из трех источников роста экономики – инвестиции, потребительский спрос, чистый экспорт, поддерживает ее на плаву только последний. Кризис добрался до промышленности, пытавшейся балансировать между стагнацией и спадом.

Структурно-сырьевая модель экономики России, предполагающая приобретение высокотехнологичных товаров и иностранных технологий не может обеспечить высокий темп роста и устойчивое развития страны ввиду отсутствия средств для осуществления инноваций [1]. За 2010-2015 гг средние темпы роста экономики России упали на 1,9%, а за 2015-2018 гг., по прогнозу Минэкономразвития, они составят 1,1%, в том числе 2,3% – за 2016-2018., при условии увеличения инвестиций [2].

Анализ неустойчивого состояния экономики РФ определяет размер внутреннего рынка:

1) Развитие институтов гражданского общества, поддержка развития человеческого капитала, снижение внутренних рисков, бюджетная консолидация и рост инвестиций в основной капитал должны явиться основой инновационного базиса развития страны.

2) Причины роста ВВП определяются высоким качеством человеческого капитала в инфраструктуру. Причины спада ВВП определены слабыми институтами.

3) Меры государства для стимулирования экономики основываются на повышении качества институтов. Меры (налоговые и регулятивные) по улучшению условий инвестиционного климата в РФ в 2016 году представили собой качественные сдвиги в эффективности государственного управления.

4) Практика альтернативного финансирования на рынке включает ассоциацию альтернативного финансирования с потребительскими займами (p2p-кредитование), хотя краудфандинг не ограничивается потребительским кредитованием, включая в себя финансирование бизнеса.

Россия по-прежнему видит свою экономику открытой, идущей по пути глобальной интеграции [3, с.18-19], что подтверждает необходимость возобновления финансового развития и финансовой глобализации. Смена модели экономики должна предполагать инновационный базис как основное условие роста конкурентоспособности и национального хозяйства, путем реиндустриализации экономики и развития человеческого потенциала на основе финансирования и инвестирования принятых решений с применением альтернативных способов финансирования.

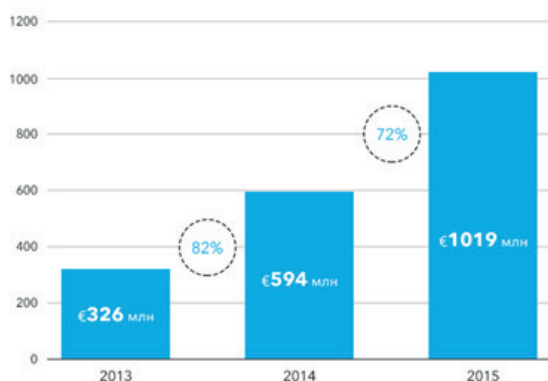


Рисунок 1 – Динамика роста альтернативного финансирования в Европе (иск. Великобританию)

Примечание: Согласно докладу KPMG, рынок только Европейского альтернативного финансирования (без учета UK) продолжил рост и увеличился на 72% в период с 2014 по 2015 до объема в €1 трлн [4].

Привлечение частных инвесторов должно выйти на первый план в деятельности органов государственного управления всех уровней. Важнейшим источником инвестиций должны стать внутренние сбережения.

II. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ФИНАНСОВОГО РЫНКА

Во внешнем контексте, экономическая динамика в мировом экономическом прогнозе, ввиду отсутствия предпосылок к улучшению, не внушает оптимизма:

1) Государственные бюджеты должны быть оптимизированы - государство «выходит» из экономики, наращивая налоговую нагрузку, в Федеральном бюджете актуален вопрос сбалансированности, регионы сокращают бюджетные расходы.

2) В финансовом секторе, на фоне мировой реорганизации финансовой системы, страхование в высоких рисках:

1. Операционные условия ухудшаются, недостаточность капитала и фондирования ограничивают возможность кредитования, прекращается улучшение качества активов, снижается прибыль.

2. Резервы роста инвестиций в аутсорсинг практически исчерпаны.

3. Локальная ситуация с разрывами экономик и разбалансированностью инвестиционной политики граничащих регионов.

Преимущества и риски краудфандинга на страновых и региональных альтернативных финансовых рынках основываются на потере интереса крупных банков к кредитованию МСБ на фоне рекордного роста просрочки. Мировая финансовая система сломана, поскольку:

1) банки теряют позиции ключевых игроков финансового рынка;

2) регуляторы ждут перемен;

3) предприятия нуждаются в доступных средствах;

4) потребители желают альтернативы. Заменой банкам могут стать бартер, сообщества (краудфандинг) и цифровые платформы расчетов.

Согласно рейтингу агентства Bloomberg, поставившему в списке самых инновационных стран Россию на 12-е место, сдерживающими факторами, при всей нормативной развитости де-факто обозначен недостаток инвестирования и кредитования инноваций.

Необходимо: усовершенствовать координацию инновационного развития страны, обеспечить эффективность деятельности ин-

Таблица 1 – Преимущества и риски краудфандинга на страновых и региональных альтернативных финансовых рынках

I	Значение и зарубежные практики альтернативного финансирования	
	Важное значение в финансовом обеспечении социальных функций государства за рубежом и сотрудничестве с малым бизнесом играют краудфандинговые платформы, поддерживающие предприятия социальной направленности (латиноамериканская Idea и Broota, американские Kickstarter, FanBacked, HeadFunder, Prosper, немецкая Startnext, голландская Sellaband, индийская Ketto, новозеландская PledgeMe, индийская Ignite Intent, французская Ulule, испанская Goteo, нидерландская Younism, китайская Pozible, сингапурская Crowdtivate Тайваньская Fly:ing V и д) Примеры лидеров альтернативного пути финансирования рынка: Funding Circle, Kabbage - сегодня миллиардные компании и лидеры рынка в США и UK, начавшие работать в незанятой нише, образованной после кризиса 2008 года, когда банки резко снизили кредитование малого и среднего бизнеса, которая создала условия для привлечения заемных денег или инвестиций с помощью нетрадиционных, в первую очередь, небанковских инструментов. Кроме «классического» потребительского p2p, где физические лица кредитуют друг друга, существует привлечения заемных денег или инвестиций с помощью нетрадиционных, небанковских инструментов – 1)Взаимное кредитование бизнеса (crowdlending), где инвесторы получают возврат на инвестиции (компания Funding Circle).2)Инвестиции за вознаграждение от компании (crowdfunding) (сервисы Kickstarter, Crowdcube). 3)Кредитование за долю в компании (crowdinvesting) (расчет на дивиденды и рост стоимости доли - Seedrs и включение совместных инвестиций в недвижимость - Tessin).4)Онлайн факторинг - финансирование дебиторской задолженности, т.е. кредит под залог ожидающихся платежей (BlueVine). Второй вариант объяснения - это кредит, в котором в качестве залога выступают ожидаемые платежи. Инвойс дискаунтинг - разновидность факторинга (финансирование обычно выплачивается сразу на общую сумму ожидаемых поставок, а не на каждую в отдельности; является регрессным, т.е. кредитор обязан возместить фактору недополученное от дебитора, и закрытым, т.е. дебитора не уведомляют о состоявшейся уступке, - Arx).	
II	Преимущества альтернативного финансирования	
	1. Системная устойчивость	В отличие от масштабной краудфандинговой индустрии стран Америки и Европы, способной обеспечить множество SPPICE (Service, Product, Project, Investment, Cause & Experience), в России данная отрасль набирает обороты: совокупный объем рынка краудфинансов за 2014 г. составил 640-700 млн руб, наблюдается рост заявок малого бизнеса; предпринимательство и социальные инициативы получают исключительно капиталные инвестиции[5]. Необходимо: совершенствовать деятельность институтов развития, как катализатора частных инвестиций в приоритетных секторах и отраслях экономики по созданию условий для формирования инфраструктуры, обеспечивающей доступ предприятиям, функционирующим в приоритетных сферах экономики, к необходимым финансовым и информационным ресурсам.
	2. Обеспечение финансовой стабильности экономики	Исследования Кембриджского университета и компании Nesta, показали, что альтернативные каналы получения финансирования - краудфандинг, P2P-кредитование и торговля инвойсами, активно растут, привлекая внимания рядовых потребителей, расширяющих возможности по управлению собственными средствами и получению большей прибыли. Наблюдается рост объемов и рынка финансирования. Например, в Великобритании, лидера данного направления развития финансирования:1) объем частного инвестирования вырос более чем вдвое, до £ 84 млн; 2) примером роста рынка платформ для привлечения инвестиций явилось появление в текущем году компания SyndicateRoom, получившей от инвесторов до £ 10 млн.[6]; 3) пространства для роста у альтернативного финансового рынка в стране достаточно, т.к. его каналами пользуются одна из девяти компаний МСБ и один из семи среди частных лиц [7]. Свидетельством признания заслуг данной отрасли перед государством может служить награждение британской королевой Орденом Британской империи двух представителей Краудфандинговой индустрии - компании Funding Circle, специализирующейся на кредитовании среднего и мелкого бизнеса, расширяющей до 1 млрд долл. европейские операции и новые рынки.

Примечание: 1) Таким образом, для роста отечественной экономики, необходим рост рынка, следовательно, объем частного инновационного инвестирования, обеспечиваемый в том числе путем внедрения краудфандинговых технологий.

2) Табл. составлена автором работы на основе анализа источников, указанных в списке литературы.

ституты развития и актуализацию программ инновационного развития компаний с государственным участием. Рост отечественной экономики предусматривает рост рынка, следовательно, объем частного инновационного инвестирования, обеспечиваемый в том числе путем внедрения краудфандинговых технологий см. табл. 1.

Поскольку краудфандинг является новым инструментом, Международная организация комиссий по ценным бумагам IOSCO не сформулировав предложения по общему международному подходу к его мониторингу и надзору, опубликовала обращение по вопросам регулирования краудфандинга, призывая регуляторов:

1) учитывать возможные трансграничные последствия, обратив внимание на основные риски, с которыми сталкиваются инвесторы, использующие краудфандинг,

2) обратить внимание (регуляторов и политиков) на меры, применяющиеся для регулирования рисков, присущих этому инструменту, см. табл. 2.

Возможность увеличения рынка краудфандинга РФ, оцениваемого ЦБ в 1-2 млрд рублей в несколько раз, предопределили необходимость обозначения направлений методологической оценки преимущества и рисков краудфандинга [8].

Таблица 2 – Методология оценки преимущества и рисков краудфандинга

I	Риски краудфандинга	
	1. Угрозы	Мошенничество, возможное ввиду: 1) инвестирования средств спонсорами через интернет-платформы при отсутствии личного контакта между владельцем средств и владельцем идеи; 2) доступа информация, представленной исключительно на сайте бизнес-проекта. Пояснение: В настоящее время: 1) наличие социальных сетей позволяет навести справки о представлении той или иной бизнес идеи и принять решение об инвестировании денег; 2) большинство краудфандинговых платформ ныне обладают системами идентификации мошеннических проектов; 3) в связи с растущим количеством данных платформ и увеличивающейся конкуренцией, ожидается совершенствовании функционирования данных систем. Классические виды глобальных рисков: экономические, социальные, техногенные, природные, геополитические. Пояснение: Увеличение критериев классификации рисков альтернативного финансирования: по аспектам (источнику, объекту) - финансовые; страховые; маркетинговые; коммерческие; промышленные; инвестиционные; политические; экологические; предпринимательские; технологические, риски участников проекта; юридические. По времени возникновения (стадии) и приемлемости риска, его масштабам (незначительный средний, малый, катастрофический) и т.д.
	2. Выбор объема (временные угрозы)	Бизнес стартап - проектов не всегда верно предопределяет прибыль от реализации продукции проекта и практически необходимую сумму его реализации. Определение приемлемости пороговых значений рисков: максимально возможного, наиболее вероятного и ожидаемого.
	3. Высокие издержки управления (пространственные угрозы)	Сторонние идеологи и спонсоры могут рассчитывать на благодарность; решения о существовании проекта - общий процесс, исключенный невозможностью проведения собраний владельцев акций в силу географической недостижимости; труднопроводимостью голосований огромного количества людей.
	4. Конфликт интересов (собственные угрозы)	В управлении стартап-проектом участвует не только предприниматель, но и инвесторы, - конфликты интересов относительно путей развития бизнеса, инвестирование 50% суммы, необходимой для реализации проекта самим предпринимателем, обладающим контрольным пакетом акций компании, не испытывающего стеснения при принятии решений относительно развития бизнеса. Для оценки стартапов, предпринимателю важно оценить правильность выбора финансовых партнеров, выбор которых зависит от обстоятельств, возможностей, концепции предпринимателя и его отношений с консультантами. В зависимости от стадии развития стартапа и его требований, могут быть выбраны альтернативные схемы финансирования: бутстрэппинг, финансовая помощь семьи и друзей, краудфандинг, инвестиции бизнес-ангелов и других владельцев крупного частного капитала, синдикаты бизнес-ангелов, традиционные банковские кредиты, получение гранта, транзакции корпоративных инвесторов, сотрудничество с государственными и независимыми инвестиционными фондами.

Таблица 2 – Методология оценки преимущества и рисков краудфандинга

II	Преимущества краудфандинга для предпринимателей сектора малого и среднего бизнеса	
	Краудфандинг способен предоставить уникальную поддержку для существования предпринимателей на нескольких уровнях. Никакой другой способ финансирования не может предоставить преимущества предпродаж, исследование рынка, рекламу через связи спонсоров без дополнительных издержек. Асимметрия информации и недостаток публично доступной информации в традиционном смысле, риски инвестиций в проекты высоки. Однако, при краудфандинге через общение со спонсорами, получение обзоров рынка от них и советов, открываются неизвестные ранее пути снижения данных рисков. Участие спонсоров в развитии проекта одновременно делает краудфандинг источником финансирования до и после становления бизнеса (в процессе его функционирования). Данный механизм позволяет большую гибкость финансирования там, где другие способы бес-силы.	
III	Преимущества для внешнего рынка	
	1. Системная устойчивость	снижение концентрированности индустрии краудфандинга, включенной в рыночную структуру; банковская система, успех которой определен несколькими организациями, доминирует над всем рынком; возникновение «too big to fail» модели, когда рискуя невыполнением своих обязательств, крупные институты опрокинут всю рыночную систему (будучи огромными для личного банкротства); рост количества платформ для краудфандинга приведет к децентрализации сил и установлению совершенной конкуренции на рынке инвестиций;
	2. Оценка экономических показателей	определение рейтингов проектов спросом на реализацию того или иного продукта, позволяет лидирующим платформам выдавать наиболее корректные значения для цен и других финансовых агрегатов, связанных с проектом; способность финансовых гигантов влиять на ожидания потребителей относительно развития рынка, что исключено при распространенном краудфандинге в условиях жесткой конкуренции.
	3. Финансовая стабильность экономики	трудность в привлечении инвестиции из других источников, кроме как банковского сектора (кредитования); прекращение работы банковского сектора при наступлении экономических кризисов. незначительное уменьшение краудфандингом объема потоков на реализацию проектов в период кризисов; возможность перераспределения инвестиций в проекты, играющих наиболее важную роль в определенный момент времени в случае ухудшения экономической ситуации; уменьшение риска возникновения инфляции, существующего при вливании денег в экономику из банковского сектора.

Примечание: 1) Инвестирование в малые общественные или частные компании включает в себя риски, в том числе - неликвидность, отсутствие дивидендов, потеря инвестиций в рамках диверсифицированного портфеля. Действия толпы Ангелов направлено исключительно на инвесторов, которые должны быть достаточно опытными, чтобы осознать риски и принять должные собственные инвестиционные решения.

2) Табл. составлена автором работы на основе анализа источников, указанных в списке литературы

Преимущества краудфандинга для предпринимателей сектора малого и среднего бизнеса определяют основные сегменты сектора

альтернативного финансирования в Европе, представленные на рис. 2.



Рисунок 2 – Основные сегменты сектора альтернативного финансирования в Европе (искл. Великобританию)

Таким образом, подтверждается утверждение, что краудфандинг - один из самых эффективных способов развития гражданского общества и развития экономики страны в целом[9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обоснования поиска альтернативных путей финансирования рынка позволили сделать следующие выводы:

- Рост российской экономики остается ниже среднего, снижается и ее доля в мировой экономике, инвестиционная привлекательность и технологические возможности, что не позволяет сократить разрыв с развитыми странами по уровню благосостояния населения без дополнительного финансирования.
- Инновационная модель экономики должна предполагать реиндустриализацию экономики и развитие человеческого потенциала на основе альтернативного финансирования и инвестирования принятых решений.
- Краудфандинг - составляющая сетевой экономики, инновационный метод альтернативного финансирования проектов при помощи Интернета на основе доверия.
- Краудсорсинговая технология - социальная технология, реализуемая субъектами гражданского общества в общественных и государственных интересах, набирающая силу в сфере финансирования стартапов, воплотившись в области некоммерческих культурных и социальных проектов, используемая во многих областях жизни общества.

Рост отечественной экономики предполагает рост рынка, объемов частного инновационного инвестирования, в том числе путем внедрения краудфандинговых технологий.

2. Исследования альтернативного финансового рынка показали следующее:

- Краудфандинговые платформы - значимые в финансовом обеспечении социальных функций государства за рубежом и сотрудничестве с малым бизнесом структуры, зачастую поддерживающие предприятия социальной направленности.
- Инструментами развития и продвижения краудфандинга и краудфандинговых проектов, создающих и распространяющих контент, способствующими преобразованию социального капитала в капитал финансовый минуя цепь посредников, являются специализированные сайты и социальные медиа.
- В зависимости от целей краудфандинга выделяют следующие его виды:
 1. по целям краудфандингового проекта: бизнес проект, креативный, политический, социальный проект;
 2. по цели для инвестора: пожертвование, не финансовое вознаграждение, финансовое вознаграждение, возвращение долга.
- Малому бизнесу, как основателю новых рабочих мест и роста отечественной экономики ограничен доступ к капиталу и новым банковским продуктам, доступным кредитуемым крупному бизнесу.
- Управление альтернативным финансовым регулированием и надзором должно регулировать краудфандинг на основе кредитов

(известный как равноправное предоставление займов (P2P)), предполагая заём денег и краудфандинг на основе инвестиций, включающий подписку на акции или другие формы ценных бумаг с учетом критериев и границ возможных рисков.

- Анализ состояния экономики, причины роста и спада ВВП, меры государственного стимулирования экономики по улучшению условий инвестиционного климата в РФ, обуславливают необходимость внедрения практики альтернативного финансирования, включая краудфандинг.

- Преимущества и риски краудфандинга на страновых и региональных альтернативных финансовых рынках определяются:

1. системной устойчивостью, оценкой экономических показателей, обеспечением финансовой стабильности экономики;

2. анализом причин и оценкой рисков краудфандинга через выбор и соотношение его объема с объемами роста МСБ, высокими издержками управления финансовой системой, значением зарубежных практик альтернативного финансирования.

- Методология оценки преимущества и рисков краудфандинга представлена путем выделения:

1. рисков краудфандинга (через угрозы), выбора его объема (временные угрозы), высокие издержки управления (пространственные угрозы), конфликт интересов (собственные угрозы);

2. преимуществ краудфандинга для предпринимателей сектора малого и среднего бизнеса, преимуществ для внешнего рынка, его системной устойчивостью, оценкой экономических показателей по обеспечению финансовой стабильности экономики.

Поиск альтернативных путей финансирования рынка определен современными кризисными явлениями в мировой экономике, состоянием мировой и отечественной финансовых систем. Значение и зарубежные практики альтернативного финансирования определяют преимущества и риски краудфандинга на страновых и региональных альтернативных финансовых рынках для предпринимателей, сектора малого и среднего бизнеса. Данная зависимость обуславливает необходимость дальнейшего теоретико – методологического обоснования категориально-системной методологии взаимосвязи преимуществ альтернативного финансирования со структурной моделью краудфандинга и его возрастающими системными рисками.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доклад об экономике России № 33 апрель 2015 [Электронный ресурс]: Официальный сайт World bank group. 2015. С. 11. - Режим доступа: <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/eca/russia/rer33-rus.pdf>,

2. Падение экономики в начале 2015 года перечеркнуло рост двух предыдущих лет [Электронный ресурс]: Газета «Ведомости» // Ведомости № 3854 от 18.06.2015. Ольга Кувшинова. - Режим доступа: <http://www.vedomosti.ru/economics/articles/2015/06/18/596842-padenie-ekonomiki-v-nachale-2015-g-perecherknulo-rost-dvuh-prediduschih-let>

3. Медведев Д.А. Новая реальность: Россия и глобальные вызовы В статье рассматриваются социально-экономические задачи. Вопросы экономики. 2015. № 10. С. 5 -29.

4. Sustaining MomentumThe 2nd European Alternative Finance Industry Report KPMG International Cooperative («KPMG International») [Электронный ресурс]: Cambridge Centre for Alternative Finance at the University of Cambridge Judge Business2.09.2016. - Режим доступа: https://www.jbs.cam.ac.uk/fileadmin/user_upload/research/centres/alternative-finance/downloads/2016-european-alternative-finance-report-sustaining-momentum.pdf

5. Рынок краудфинансов в РФ: Краудфандинг, Краудинвестинг, Краудлендинг 21 Января 2015 http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-kraudfinansov-v-rf-kraudfanding-kraudinvesting-kraudlending-20150121044017

6. Россияне жертвуют мимо рейтинга. Опубликован мировой индекс благотворительности. [Электронный ресурс]: Филантроп. Электронный журнал о благотворительности Рубрика:АНАЛИЗ. Лидия Тихонович. 10.11.2015. - Режим доступа: <http://philanthropy.ru/analysis/2015/11/10/30689/#.VpdHRbaLTIU>

7. Альтернативный финансовый сектор Великобритании удваивается каждый год. [Электронный ресурс]: Ре банкинг. Современные стратегии банкинга. / Ноябрь 17, 2014. - Режим доступа: <http://rebanking.ru/alternativnyi-finansovyy-sektor-velikobritanii-udvaivaetsya-kazhdyiy-god/>

8. Краудфандинг: сущность, преимущества и риски. [Электронный ресурс]: Электронный журнал. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Экономика и Право» / Д.Е. Гусева, Н. Малыхин, (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Националь-

ный исследовательский университет «Высшая школа экономики»), [СПб.]:9.10.2014. - Режим доступа: <http://www.nauteh-journal.ru/index.php/ru/---ep14-09/1278-a>

9. Грахов А.А. Жирова Е.И. Краудфандинговые технологии как способ реализации соци-

альных проектов. - Сборник научных трудов III Международной научной конференции. Томск, 2016. С. 373-377. Издательство: Национальный Томский политехнический университет (Томск). ISSN: 978-5-4387-0672-4 - с. 373-377

CROWDFUNDING: THE POTENTIAL AND RISKS OF IMPLEMENTING ALTERNATIVE FUNDING MARKET IN THE CONTEXT OF THE CONTOURS OF THE GLOBAL FINANCIAL CRISIS

A. A. Grahov

Abstract. Based on the performance of the macro characteristics of the economy in the country and comparing the risks of development of the economy and the introduction of crowdfunding, the article justifies the search for alternative ways of funding market through an analysis of the current state of the Russian economy; the ratio of the reasons for the slowdown in the domestic economy; changes in the structure of GDP growth of Russia, government measures to stimulate and risks of the Russian economy. Alternative financial market is represented by progressive foreign crowdfunding platforms and structure of the Russian market of crowdfunding turnover; presented and defined objectives, the development of the economy, criteria of classification and the boundaries of the risks of alternative financing, the dynamics of its development.

Key words: investment, government measures to stimulate the economy, alternative financial markets, the classification criteria are risks and benefits of crowdfunding, crowdfunding platforms and social orientation.

REFERENCES

1. Economic report of the Russian Federation No. 33 of April 2015 [Electronic resource]: Official website of the World bank group. 2015. P. 11. - Mode of access: <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/eca/russia/rer33-rus.pdf>,
2. The fall of the economy in early 2015, has crossed growth the two previous years [Electronic resource]: the Newspaper «Vedomosti», Vedomosti № 3854 18.06.2015. Olga Kuvshinova. - Mode of access: <http://www.vedomosti.ru/economics/articles/2015/06/18/596842-padenie-ekonomiki-v-nachale-2015-g-perecherknulo-rost-dvuh-prediduschiy-let>
3. Medvedev D. A. a New reality: Russia and the global challenges the paper examines the socio-economic objectives. Questions of economy. 2015. No. 10. P. 5 -29.
4. Sustaining Momentum The 2nd European Alternative Finance Industry Report KPMG International Cooperative («KPMG International») [Электронный ресурс]: Cambridge Centre for Alternative Finance at the University of Cambridge Judge Business 2.09.2016. [Electronic resource]: https://www.jbs.cam.ac.uk/fileadmin/user_upload/research/centres/alternative-finance/downloads/2016-european-alternative-finance-report-sustaining-momentum.pdf
5. Krutyantov market in Russia: Crowdfunding, Credinvest, Kreuzlingen January 21, 2015 http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/rynok-kraudfinansov-v-rf-kraudfanding-kraudinvesting-kraudlending-20150121044017
6. The Russians sacrificed by rating. Published world giving index. [Electronic resource]: the Philanthropist. The electronic journal on philanthropy Category: ANALYSIS. Lidia Tikhonovich. On 10.11.2015. - Mode of access: <http://philanthropy.ru/analysis/2015/11/10/30689/#.VpdHR-baLTIU>
7. Alternative financial sector in the UK doubled every year. [Electronic resource]: Re banking. Modern banking strategies. November 17, 2014. - Mode of access: <http://rebanking.ru/alternativnyiy-finansovyyiy-sektor-velikobritanii-udvai-vaetsya-kazhdyiy-god/>
8. Crowdfunding: the nature, benefits and risks. [Electronic resource]: Electronic journal. Modern science: actual problem theory and practice. Series «Economics and law». D. E. Guseva, N.

юаней, что при примерном курсе на февраль 2017 г. 1 \$ 6.85 ¥, что больше всех исламских банковских активов [3].

Православный банкинг вообще имеет только контуры. На практике существует банк, основным акционером которого является Русская православная церковь, - «Акционерный коммерческий банк содействия благотворительности и духовному развитию Отечества «ПЕРЕСВЕТ» (Акционерное общество) зарегистрирован Банком России 13 октября 1992 года, активы-нетто Банка составили 200.3 млрд. рублей, он входит в топ-50 российских банков, но это универсальный коммерческий банк [4].

В этой связи, по мнению экспертов в области исламских финансов, исламские финансы все увереннее занимают все новые позиции в мировой финансовой системе. К примеру, Государственный банк Пакистана (State Bank of Pakistan (SBP) подсчитал, что доля рынка исламского банкинга в стране может увеличиться на 100% в течение следующих 5 лет [5].

Несмотря на утверждение Президента Турции Р.Т. Эрдогана о том, что «...экономика как таковая не имеет религии», главные составляющие экономического развития исламского банка являются гуманизм, информация и денежно-кредитная политика [6]. Так, например, исламский банкинг в Турции существенно обогнал темпы роста обычного банкинга за последние 10 лет. Банки участия в стране удвоили свою долю в величине общих банковских активов и довели ее до 5% по состоянию на конец 2015 года в сравнении с 2,5% в 2005 году. По состоянию на конец 2015 года величина активов сектора составляла 42,2 млрд долларов – в 5,6 раз больше, чем на конец 2005 года, как говорилось в последнем отчете S&P Ratings по исламскому банкингу. С введения исламского банкинга в Турции в 1985 году исламские банки значительно разрослись благодаря частному капиталу, в частности, посредством организаций, связанных со странами Залива, в т.ч., исламских банков Кувейта и Бахрейна. После достижения пиковой величины в 5,5% в 2013 году рыночная доля сектора несколько снизилась до 5,2% в 2014 году и 5,1% в 2015 году. Эти данные не следует воспринимать с пессимизмом, поскольку снижение было во многом связано с крупным сокращением баланса Asya Katilim Bankasi, испытывавшего трудности в последние годы. За вычетом этого влияния исламские банки страны продолжили расширять свои балансы динамичными темпами. В 2016-2019 гг. экспер-

ты ожидают расширения экономики Турции на величину порядка 3% в год. С учетом дополнительного капитала двух новых банков участия можно предположить, что темпы роста активов банков участия в целом будут выше темпов роста остального банковского сектора Турции. В настоящее время в Турции насчитывается 6 исламских банков, из них 2 открылись в 2015 году. Ziraat Katilim Bankasi, принадлежащий государственному Ziraat Bank, начал свои операции как раз в прошлом году. К концу года у него уже имелось 33 филиала [7].

Ориентация на этические индикаторы реализована, например, в Бутане, где ориентируются не на ВВП, а на «валовое национальное счастье»; учитывающее общую экономическую ситуацию, удовлетворенность населения, а также буддистские духовные ценности, на основании которых только и можно развивать экономику.

В России исламские окна или определенные банковские продукты предлагают нижегородский «Эллипс банк», казанский «Булгар банк». Внешэкономбанк и Группа Исламского банка развития (Islamic Development Bank Group) заключили Меморандум о взаимопонимании. Среди небанковских организаций, «Ак Барс Банк», ВТБ, «UFS Инвестмент» и др.

При условии достаточной скорости освоения новейших информационных и научных технологий коммерческий банк имеет высокие возможности устойчивого конкурентирования в мировой банковской среде. Конкурентная среда в банковском секторе услуг требует от нового участника рынка высокотехнологических банковских продуктов и услуг, стимулируя постоянное повышение качества банковского обслуживания клиентской базы. Резкое возрастание конкуренции в системе банковского рынка диктует особое внимание к предоставленному ассортименту и номенклатуре банковского продукта. Проектирование банковского продукта должно характеризоваться всесторонним учетом интересов трех сторон: интересов самого банка, интересов клиентов банка и интересов государства в котором работает данный банк.

ИСЛАМСКИЙ БАНКИНГ: ПРИНЦИПЫ, ПРОДУКТЫ, ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ РОСТ

Под емкостью рынка банковских услуг понимается совокупный оборот по данному виду банковских операций (услуг), осуществленных (предоставленных) всеми кредитными организациями на территории Российской Федерации [8].

Традиционно исламские банки занимают устойчивые позиции в странах, исповедующих коран, таких как Пакистан, Иран, Малайзия. В таких немусульманских странах, как Великобритания, Дания, Филиппины объем активов, управляемых исламскими принципами, достигает 100 миллиардов американских долларов. Количественные данные об объеме мировой финансовой системы, такие как наличие 4 исламских банковских холдинговых компаний, 100 исламских коммерческих банков, 16 исламских инвестиционных банков, 34 исламских финансовых и инвестиционных компаний, около 30 исламских страховых компаний и перестраховочных обществ, 10 компаний по доверительному управлению, 8 крупных исламских международных торговых компаний, 8 брокерских компаний, 6 исламских специализированных лизинговых компаний и 4 дисконтных дома демонстрируют переход от обычной традиционной системы банковских услуг к банкам исламского толка [9]. Кроме вышеперечисленных данных, следует отметить частичное использование исламских банковских инструментов в управлении активами, такие как, например, исламские страховые ассоциации и союзы, консалтинговые и рекрутинговые фирмы, бухгалтерские организации, аудиторские и юридические компании. В настоящее время множество крупных западных банков (ABN Amro, Citibank, Société Générale, Goldman Sachs, Nomura Securities и другие) имеют отделы, специальные подразделения, предоставляющие клиентам исламскую финансовую продукцию [10].

Главнейшим принципом деятельности исламских банков считается принцип создания системы отношений банка и его потребителя, базирующийся на сотрудничестве и разделении потенциального риска участниками сделки. Сторонники по внедрению исламских банков в страны бывшего СНГ считают существенным конкурентным преимуществом исламского банка «справедливое инвестирование», при котором инвестиции направлены в реальные сектора производства, а не в финансовый рынок. Важно отметить общеизвестный факт, что Ватикан стал на сторону исламской банковской системы, призывая традиционную банковскую систему вернуть нравственные системы и в марте 2009 года в своей официальной газете «L'Osservatore Romano», подчеркивалось необходимость исследования принципов исламского банка. Необходимость исследования этических принципов исламских банков подчеркивается экспертами

и рекомендуется как элемент антикризисной программы в первый раз при развитии Азиатско-Тихоокеанского экономического кризиса 1997-1998 годов. Западная система теряла интерес к изучению этических принципов исламских банков после преодоления очередного экономического кризиса. Существующая мировая банковская система имеет теоретическую базу на основании теории финансового портфеля Марковица, принципах корпоративного финансирования Модильяни и Миллера и многих других. Солидарный принцип в распределении прибыли исламских банков часто используется в проектом финансировании традиционных банков, теоретической базой которых являются перечисленные теории финансов. Очевидным фактом сегодня является полное восприятие научной общественностью исламских банков как официальных игроков мировой экономики и финансов. В современном экономическом мире пока только государство Судан стопроцентно использует чисто исламскую банковскую систему. Стоит отметить, что крупным финансовым исламским центром является Великобритания, которая идет впереди Пакистана, Судана, Турции, Египта. Полная адаптация в систему традиционного банка исламских банков произошла на основе изменения национального законодательства государственной политики в области исламских банков. В 2003 году в Великобритании правительством ликвидировано двойное налогообложение на операции с недвижимостью, расширились налоговые льготы по исламскому финансированию. Наряду с этим реформирован механизм эмиссии исламских облигаций в Лондоне. Также установлено соответствие процессов регулирования исламских банков с уставными целями на территории Великобритании. Для достижения антикризисных целей в Великобритании создали развитую систему поддержки исламских банков, включив семь биржевых фондов и сеть образовательных учебных заведений. Надо отметить, что первые исламские облигации выпущены в Европе в Германии. Такая крупная европейская страна как Франция, имея 10% в своей структуре мусульманского населения, вынуждена вести адаптационные мероприятия в своем законодательстве по внедрению исламского банка в существующую систему. Растущий спрос во Франции на исламские банковские продукты, формируются 5 млн. человек с высоким доходом, обеспечивая появление благоприятной среды для роста исламских банков.

Традиционные банки имеют большой шанс

Таблица 1 – Классификация инноваций для банковского дела

№	Признак классификации	Вид банковской инновации	Содержание банковской инновации
1	Географический уровень	Мировой уровень	Не имеет аналогов в мировой практике банковского дела
		Национальный уровень	Инновация в пределах одного государства
		Корпоративный уровень	Инновация в пределах одной банковской системы
		Элементарный уровень	Инновация в пределах единицы банковской системы
2	Природа инновации	Реактивные	Ответные инновации на рынке
		Стратегические	Инновации реализуют генеральную линию поведения банка на рынке
3	Уровень удовлетворения потребностей потребителя	Инновации ориентированы на текущие потребности клиентов	Поведение банка как запоздавшая реакция на текущую ситуацию рынка
		Формирующие новые потребности клиента	Расширяет клиентскую базу
4	Направленность	На продукт банка	Новые банковские продукты
		На услуги банка	Новые услуги
		На технологии банка	Новые технологии обслуживания клиентов
		На менеджмент банка	Новые методики и системы мотивации кадров банка
5	Экономическое содержание	Технологические инновации	Определение экономической эффективности от создания инновации
		Продуктивные инновации	Определение экономической эффективности от эксплуатации инновации

применить этические принципы исламских банков в своей деятельности в категории инноваций при применении стратегий фокусирования на потребителе продуктов банка. Также считают и поддерживают применение принципов исламских банков как инновации в традиционных банках:

- исламская финансовая модель - это прежде всего, инновационный продукт, который способен придать дополнительный импульс развитию экономики [11];

- инновация - конечный результат внедрения новшества с целью изменения объекта управления и получения экономического, социального, научно-технического, экологического или другого эффекта [12];

Итогом изучения работ авторов по инновационному менеджменту: А.И.Пригожина, М. Хучека, С.Д. Ильенковой, П.Н. Завлина, О.Р. Жданова, А.М. Карминского и др. явилась та-

бличная классификация инноваций для банковского сектора экономики, составленная авторами (см. табл. 1).

Принципы исламского банка используются традиционными банками на всей территории бывшего СНГ, во избежание финансовых кризисов, принимают стратегическую линию инновационного развития исламских банковских продуктов через исламские окна с учетом научного изучения и анализа внешней среды. Изучение и анализ внешней среды показал, как отмечает М. Арифф, что некоторые экономические теории Запада затрудняют использование принципов исламского банкинга, такие, как теория конкуренции Портера, теория максимизации прибыли фирмы, теория процентной ставки [13]. Утверждается, что пост-кейнсианская теория денег эндогенностью подчеркивает важность банковских кредитов, вызывающих изменения денежной массы. Ставится под

Таблица 2 – Стратегия фокусирования исламского банка

	Характеристики стратегии банка	Пример
	1	2
1	Необходимые рыночные условия	
A	Потребности клиентов в данном банковском продукте разнообразны	Этические потребности Экономические потребности
B	Существование рыночной ниши для концентрации деятельности банка	20 миллионов носителей Мусульманской веры
C	Конкуренты не рассматривают данную экономическую и рыночную нишу как ключевой фактор успеха	Традиционная банковская структура
D	Ресурсы банка временно не способны обслуживать весь рынок банковских продуктов	Процесс интеграции в начальном состоянии
E	Величина рыночной ниши потенциально обеспечивает прибыльность банка	Прогноз положительный
2	Риски	
A	Рыночная ниша привлекательна для конкурентов со временем	Появление «исламских окон»
B	Различие ценовой шкалы по банковским продуктам	Инфляционные процессы
C	Отличия между целевым сегментом рынка и общим могут снизиться	Глобализационные процессы
D	Возможность конкурентов специализироваться в данной рыночной нише	Диверсификация продукта в традиционных банках
E	Другие риски банка	

сомнение теории сторонников эндогенной денежной массы, доказывающих, что банки создают деньги путем удовлетворения денежных требований экономических агентов [14]. Несмотря на объективный характер перечисленных экономических законов и математическую сущность данных законов экспертами исламской экономики они объявлены сомнительными. Наряду с этим эксперт исламской экономики Чапра М. Умар подчеркивает, что целью исламского экономического развития является социально – экономическая справедливость, при котором должны учитываться интересы всех групп мусульман, независимо от цвета кожи [15]. Понятие экономической в исламской экономике справедливости означает неприятие эксплуатации человека и ликвидацию злоупотребления правами других на основе внимательного отношения к процессу распределения благ. Справедливое распределение благ подразумевает помощь неимущим слоям общества, а также, сбор и выплату Закята. Свобода личности в исламской экономике счи-

тается самой главной целью, ради которой и приводится в движение весь механизм рынка.

Менеджмент банков с точки зрения их этической направленности опирается на систему принципов справедливости и честности по отношению к интересам всего общества. Современные процессы с элементами инноваций экономической деятельности традиционного банка могут стать началом к переходу на новые рельсы банковской деятельности с применением принципов и продуктов религиозного банкинга (православного, исламского) для привлечения нового сегмента потребителей и для решения проблем экономического и политического кризиса на территориях бывшего СНГ. Несмотря на неуклонный рост и повышение уровня конкурентоспособности исламская финансовая индустрия является зависимой от качества интеллектуальных ресурсов и потока инвестиций в научные исследования исламской экономики в целом. Существование острой необходимости в системной подготовке высококвалифицированных кадров являет-

Таблица 3 – Сравнение банковских систем

	Вид банка	Истоки	Принципы	Законы
	1	2	3	4
1	Традиционный банк	Венеция 1587 год	Ростовщические	Закон стоимости Закон конкуренции Закон процентной ставки Закон спроса и предложения Basel 4 Кодекс этических принципов банковского дела (АРБ, 2008)
2	Исламский	МитГамбр Египет 1963 год	Этические	Коран Шариат
3	Христианский	Ветхий Завет с описанием «юбилев» (периодические списания долга).	Этические	Десять Заповедей и благословения/наказания, которые зависят от послушания или непослушания этим заповедям
4	Банк Ватикана	Десять Заповедей и благословения/наказания, которые зависят от послушания или непослушания этим заповедям	Прозрачности финансовой системы	
5	Православный (проект)	Указ Владимира Мономаха (1013); Уголовное уложение Российской империи (1903)	Этические (православного банкинга)	Заявления синодального отдела по взаимоотношениям РПЦ и общества (2014)

ся реальным для реализации и непрерывного обеспечения инновационными банковскими продуктами и услугами новых сегментов потребителей, которые позиционируются как потребители с этическими принципами.

Следовательно, для решения актуальных назревших экономических проблем наиболее остро обществом ставится вопрос по подготовке профессионалов мирового класса банковских кадров, владеющих знаниями в области теории и концепций исламской экономики и норм исламского банковского дела. Концентрация внимания на подготовке кадров в области исламской банковской системы необходима для разработки стратегических программ развития альтернативных финансовых на территориях бывшего СНГ. Для заполнения существующих финансовых и инвестиционных и рыночных ниш на мировом финансовом рын-

ке исламским банкам необходимо, по нашему мнению, принять генеральной линией поведения на рынке стратегию фокусирования на потребителе и на продукте и их позиционировании. «Стратегия фокусирования предполагает концентрацию деятельности предприятия на относительно небольшой группе целевой группе потребителей, части товарного ассортимента, каком-либо аспекте деятельности» [16]. Стратегия фокусирования обеспечивает преимущество над другими игроками рынка и обособлением на единственном сегменте финансового рынка. Особенности стратегии фокусирования как предлагаемая потенциальная генеральная линия поведения исламского банка для территорий бывшего СНГ, таблица составлена авторами на базе изучения аспектов стратегического менеджмента (И. Ансофф, В.Д. Маркова и др.) (см. табл. 2)



Рисунок 2 – Основная структура Организации Исламского сотрудничества [19]

Необходимо подчеркнуть, что исламская экономика есть теоретическая дисциплина, строго регламентированная и нормативная изучая такие проблемы и категории как конечное благосостояние человека, которые широко не изучаются в традиционной экономике и принципиально не освещаются как цель экономики. Критика теории ограниченности ресурсов традиционной экономики содержится в трудах исламских экономистов. Согласно высказываниям экономиста М. Ариффа, ограниченность ресурсов имеет субъективный характер, преодоление которой возможно путем исследований новых ресурсов и применения альтернативных продуктов и видов энергии, данных человечеству Творцом изначально. На основе изучения автором выполнено сравнение двух банковских систем: табл. 3.

Основной организацией по развитию деятельности ИБР (Исламского банка развития) в мировом пространстве является на современном этапе Организация Исламского Сотрудничества, который включает 57 государств, население которых достигает 1,5 млрд. человек. Россия входит в число наблюдателей наряду с Таиландом, Боснией, Герцеговиной. «Россия зачастую выступает на стороне исламского мира в наиболее чувствительных для него вопросах» [18].

Россия на данном этапе неуклонно и позитивно укрепляет отношения с участниками государствами ОИС. В координационных

границах ОИС включает самостоятельные организации. Кроме перечисленных организаций ОИС на рис. 2 в структуру ОИС входят: Исламская торгово-промышленная палата, Организация Исламских столиц, Центр по статистическим и социальным исследованиям и другие. Основной целью ОИС является развитие сотрудничества между членами ОИС и развитие стран сотрудничества.

В конце марта 2016 начал свою деятельность Центр партнерского Банка в Татарстане, который будет реализовывать производство альтернативных традиционному банку виды банковских услуг, основанных на принципах исламского банка. Открытие Партнерского банка в России основано на разработанной ранее Дорожной Карте по развитию Партнерского Банка под руководством Алексея Симановского и кредитная организация ПАО «Татфондбанк» выбран главным реализатором производства альтернативных банковских услуг в регионах России. Представитель Русской Православной Церкви В. Чаплин предложил более радикальные методы введения альтернативных банков в виде православно-мусульманских банковских систем, которые должны быть носителем справедливого подхода к труду и к капиталу. В своих высказываниях в прессе доктор по исламской экономике Али Мухиддин Кардаги использует слова Корана «Непременно найдешь, что ближе всех в любви к верующим, являются те, которые го-

ворят: «Мы христиане»...» и подчеркнул года, осветил недостатки легализации Исламского банка на территории России, что необходимо прислушаться к этим словам [19]. Президент Республики Татарстан Рустам Миниханов в выступлении на Казан-Саммите 2016 [20]:

- недостаточная осведомленность населения России об особенностях партнерского банка;
- отсутствие единого органа управления;
- отсутствие единых стандартов контроля и соответствия исламским принципам ведения банковского дела;
- недостаточная развитость рынка капитала;
- недостаток кадров для партнерского банка;
- дороговизна продуктов партнерского банка.

Кроме недостатков Президент РТ подчеркнул: «Сегодня сектор исламского финансирования один из самых быстрорастущих в мире. Ежегодный рост 20%, что позволяет исламскому банку выступать одним из эффективных инструментов в финансировании экономического развития».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования автора статьи по изучению уровня притязания и личностного интереса граждан Республики Казахстан показали готовность стать клиентом исламского банка у 78% населения представителей не только мусульманской веры, большинство респондентов не смотря на то, что не знают принципов исламского банкинга выражают позитивное их восприятие, что позволяет прогнозировать рост потребительского спроса на этические банковские продукты [21].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патласов О.Ю., Каирденов С.С., Этические финансы в нравственной экономике // Наука о человеке: гуманитарные исследования. – 2015. – № 4 (22). – С. 213-225.
2. Эльдар Яхин, Управление исламского банкинга Татагропромбанка, партнер «Юмарт-Финанс». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tapb.ru/upload/iblock/722/.pdf>
3. ICBC Business Review. – Режим доступа: <http://www.icbc.com.cn/ICBC/EN/AboutUs/BriefIntroduction/>
4. Сайт АКБ «Пересвет». – Режим доступа: <http://www.bank-peresvet.ru/about/info/news/25/149460>

5. Исламский банкинг станет лидером на финансовом рынке Пакистана (2014). – Режим доступа: <http://islam-today.ru/novosti/2014/08/05/islamskij-banking-stanet-liderom-na-finansovom-rynke-pakistana/>

6. Erdogan. The economy does not have a religion. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ntvmsnbc.com>

7. Исламские банки Турции обгоняют традиционный банкинг. MuslimEco.ru по материалам Zawya – Режим доступа: <http://islamvevrazii.ru/ika240.php>

8. Якупов Л. «Традиционным банкам не хватает креативности.» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.info-islam.ru/publ/intervju/linar_jakupov_tradicionnym_bankam_ne_kreativnosti/4-1-0-11431#

9. Кашаев Н. Перспективы исламской модели экономики в России и ЕАЭС. / Н. Кашаев // Сб. материалов Междунар. Науч.-практ. Конф. «Образ евразийской интеграции в XXI в.: ограничители и перспективы». – Уфа, – 2014.

10. Беккин Р.И. Исламские финансовые институты и инструменты в мусульманских и немусульманских странах: особенности и перспективы развития: автореферат дис. ... докт. экон. наук. – М., 2009. – С. 7

11. Фатхутдинов Р.А. Инновационный менеджмент [Электронный ресурс]. / Р.А. Фатхутдинов. – Москва. Бизнес школа. Интед-Синтез. Режим доступа: https://www.consultant.ru/law/ref/ju_dict/word/emkost_rynka_bankovskih_uslug/

12. Судин Харонван Нурсофиза Ван Азми «Исламские финансы и банковская система философия, принципы и практика» – Казань. Линова-Медиа, – 2012 – 527 с. – С 84.

13. Ariff, Mohamed. Economics and Ethics in Islam. In Readings in the Concept and Methodology of Islamic Economics, edited by Aidit Ghazali and Syed Omar , 96-119. Kuala Lumpur (Malaysia): Pelanduk Publications, 1989.

14. ZE Badarudin, Mohamed Ariff, AM Khalid (2013): Post-Keynesian money endogeneity evidence in G-7 economies/ //Journal of International Money and Finance. Vol. 33. PP. 146-162.

15. Chapra M.U. What is Islamic economics? [Электронный ресурс]. URL: <http://bev.berkeley.edu/ipe/readings/IslamicEconomics.pdf>

16. Информационная справка. Организация исламского сотрудничества. Стр 3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.kazansummit.ru

17. Али Карадаги: Исламский банкинг поможет российской экономике. [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: <http://islamdag.ru/analitika/16582>

18. Малахов В. Культурные различия и политические границы в эпоху глобальных миграций / В. Малахов. – М.: Новое литературное обозрение; Институт философии РАН, 2014; Простаков С. Доля мусульман в населении Европы за 20 лет возросла на 50%. 7.03.2014. – Режим доступа: http://rusplt.ru/fact/facts_8512.html

19. Минниханов считает, что западные санкции увеличивают привлекательность исламского банкинга в России. [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: <http://m.business-gazeta.ru/news/311351>

20. Минниханов Р. Международный экономический саммит Kazansummit – это основная площадка России для работы со странами исламского мира. – Режим доступа: <http://kazan.bezformata.ru/listnews/dlya-raboti-so-stranami-islamskogo/34206899/>

21. Каирденов С.С. Исламские банковские продукты: восприятие клиентов в светских государствах / С.С. Каирденов, О.Ю. Патласов // Наука о человеке. Гуманитарные исследования. – 2013. – № 4 (14). – С. 25-33.

CAPACITY OF THE ISLAMIC BANKING MARKET

S. Kairdenov, O. Patlasov

Abstract. *The authors consider in this scientific publication features the origin and development of Islamic banking. This paper presents a theoretical and practical material on the principles and laws of the existence of an Islamic bank, as well as the proposed integrative processes and influencing factors of ethical principles of Islam in the traditional banking system. The article is devoted to the integration processes of introduction of Islamic finance in the global economy, based on the increasing demand for Islamic investment funds. The estimation of potential market Islamic banking products. It is proved that ethical finance are able to absorb the contours of the global financial crisis. The development of the Islamic banking system is based on the requirement of finding a new strategy to improve the existing mechanism and economic niches of Islamic banking.*

Keywords: *Islamic banks, ethics, banking innovation, factors of Islamic economic methodology, the organization of Islamic Cooperation.*

REFERENCES

1. O.Yu. Patlasov S.S. Kairdenov, Ethical finance in the moral economy // The Science of Man: Human studies. - 2015. - number 4 (22). - S. 213-225.

2. Eldar Jachin, Islamic banking management Tatagroprombanka partner "YumartFinans". [Electronic resource]. - Access: <http://www.tapb.ru/upload/iblock/722/>.pdf

3. ICBC Business Review. – [Electronic resource] <http://www.icbc.com.cn/ICBC/EN/AboutUs/BriefIntroduction/>

4. The site of the Bank "Peresvet" [Electronic resource] <http://www.bank-peresvet.ru/about/info/news/25/149460>

5. Islamic banking will become a leader in the financial market of Pakistan (2014). - Access: <http://islam-today.ru/novosti/2014/08/05/islamskij-banking-stanet-liderom-na-finansovom-rynke-pakistana/>

6. Erdogan. The economy does not have a religion. [Electronic resource]. URL: <http://www.ntvmsnbc.com>

7. Islamic banks in Turkey overtake tradition-

al banking. MuslimEco.ru Materials Zawya - Access: <http://islamvevrazii.ru/ika240.php>

8. L. Yakupov "Traditionally, banks do not have enough creativity." [Electronic resource]. - Mode of access: http://www.info-islam.ru/publ/intervju/linar_jakupov_tradicionnym_bankam_ne_kreativnosti/4-1-0-11431#

9. Kashaev N. Prospects of Islamic economic model in Russia and the EAEC. / N. Kashaev // Coll. Intern materials. Scientific-practical. Conf. "The image of Eurasian integration in XXI century.: constraints and prospects." - Ufa - 2014.

10. Bekkin RI Islamic financial institutions and instruments in the Muslim and non-Muslim countries: characteristics and development prospects: the dissertation dis. Doctor. ehkon. Sciences. - M., 2009. - P. 7

11. Fatkhutdinov RA Innovation management [electronic resource]. / RA Fatkhutdinov. - Moscow. Business School. Inted-Synthesis. Access: https://www.consultant.ru/law/ref/ju_dict/word/emkost_rynka_bankovskih_uslug/

12. Sudin Haronvan Nursufiza Wan Azmi "Islamic finance and banking system of the philoso-

ВВЕДЕНИЕ

Вариант современной практики перевозок грузов, когда арендатор обращается к предпринятию-собственнику автотранспортных средств (АТС) и на свое усмотрение заказывает тот подвижной состав, который ему нужен, ориентируясь только на стоимостные показатели, кузов и грузоподъемность, соответствует наблюдениям [1]. В практике АТС работают на разных расстояниях [2, 5]. Интересы практики и теории требуют, до опыта, знания зависимости затрат на аренду группы АТС от изменения расстояния перевозок торговых грузов.

Установление зависимости затрат по аренде группы автотранспортных средств от расстояния перевозок грузов. Решение данной задачи рассмотрим на примере работы группы арендных АТС грузоподъемностью 1,5 тонн при перевозке торговых (продовольственных, промышленных) грузов (первого класса) в городских условиях эксплуатации, диапазон пробега с грузом примем от 1 до 90 км, с шагом 1 км.

Заказчику требуется группа фургонов (Аэ) на базе ГАЗ-3302 на 8 часов работы (Тн). Арендатор сообщает арендодателю, что погрузка одного и того же груза будет осуществляться с одного пункта (пост один), а разгрузка будет осуществляться у арендатора (пост один), известно время погрузки-разгрузки (t_{np}=0,53 ч) и расстояние, на котором планируется перевозка груза. Подача АТС под погрузку осуществляется «цепочкой» с учетом максимального ритма грузовых работ [2, 3], то есть без простоев. Данная производственная ситуация напоминает практику, идентифицированную в теории ГАП, как «малая ненасыщенная АТС-СПГ», маятниковый маршрут с обратным негруженым пробегом, поэтому расчеты технико-эксплуатационных показателей (ТЭП), выработки, времени возможной работы (Т_{мi}) каждого АТС с учетом ритма (R) прибытия АТС под погрузку-разгрузку, выполним с использованием модели описания функционирования малой ненасыщенной АТС-СПГ [2, 3, 4]. R равен максимальному времени погрузки или разгрузки АТС. В данном примере R принимаем равным 0,265 ч.

Исходные данные при расстоянии перевозок груза l_г=1 км представлены в табл. 1.

Приведем пример расчета для l_г=1 км:

Длина маршрута (l_м, км):

$$l_m = l_z + l_x = 1 + 1 = 2,$$

Таблица 1 – Исходные данные

Наименование показателей	Условное обозначение	Величины показателей
Номинальная грузоподъемность АТС, т	q	1,50
Статический коэффициент использования грузоподъемности	γ	1,00
Плановое время в наряде, ч	T _н	8,00
Время на погрузку-разгрузку АТС, ч	t _{np}	0,53
Средняя техническая скорость АТС, км/ч	V _т	25,00

Время ездки, оборота АТС (t_{е,о}, ч):

$$t_{e,o} = \frac{l_m}{V_m} + t_{np} = \frac{2}{25} + 0,53 = 0,61,$$

Выработка АТС в тоннах за ездку, оборот (Q_{е,о}, т):

$$Q_{e,o} = q \cdot \gamma = 1,5 \cdot 1 = 1,5,$$

Выработка АТС в тонно-километрах за ездку, оборот (P_{е,о}, т·км):

$$P_{e,o} = q \cdot \gamma \cdot l_z = 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = 1,5,$$

Пропускная способность грузового пункта (A_э', ед.):

$$A'_e = \left[\frac{t_{e,o}}{R_{\max}} \right] = \left[\frac{0,61}{0,265} \right] = 2,$$

Возможное время работы каждого АТС в малой ненасыщенной АТС-СПГ (Т_{мi}, ч):

$$T_{m1} = T_m - R_{\max} \cdot (i - 1) = 8 - 0,265 \cdot (1 - 1) = 8,$$

$$T_{m2} = 8 - 0,265 \cdot (2 - 1) = 7,735,$$

где i - порядковый номер прибытия АТС в пункт погрузки.

Где Т_м определяется:

$$T_m = T_n - t_{n1} = 8 - 0 = 8,$$

Число ездов каждого АТС за время в наряде (Z_{ei} , ед.):

$$z_{e1} = \left[\frac{T_{M1}}{t_{e,o}} \right] = \left[\frac{8}{0,61} \right] = 13,$$

$$z_{e2} = \left[\frac{T_{M2}}{t_{e,o}} \right] = \left[\frac{7,735}{0,61} \right] = 12,$$

Остаток времени в наряде после выполнения целого числа ездов (ΔT_m , ч):

$$\Delta T_{M1} = T_M - \left[\frac{T_M}{t_{e,o}} \right] \cdot t_{e,o} =$$

$$= 8 - \left[\frac{8}{0,61} \right] \cdot 0,61 = 8 - 7,93 = 0,07,$$

$$\Delta T_{M2} = 7,735 - \left[\frac{7,735}{0,61} \right] \cdot 0,61 = 7,735 - 7,32 = 0,415,$$

Ездка, выполняемая за остаток времени, после выполнения целого количества ездов оборотов (z'_e , ед.):

$$z'_e = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{\Delta T_m}{\frac{l_z}{V_m} + t_{np}} \geq 1, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad z'_{e1} = z'_{e2} = 0$$

Выработка в тоннах каждого АТС за время в АТСПГ ($Q_{\text{день},i}$, т):

$$Q_{\text{день}1} = \sum_1^{Ze1} q \cdot \gamma = \sum_1^{13} 1,5 \cdot 1 = 19,5,$$

$$Q_{\text{день}2} = \sum_1^{Ze2} q \cdot \gamma = \sum_1^{12} 1,5 \cdot 1 = 18,$$

Выработка в тонно-километрах каждого АТС за время в АТСПГ ($P_{\text{день},i}$, т·км):

$$P_{\text{день}1} = \sum_1^{Ze1} q \cdot \gamma \cdot l_z = \sum_1^{13} 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = 19,5,$$

$$P_{\text{день}2} = \sum_1^{Ze2} q \cdot \gamma \cdot l_z = \sum_1^{12} 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = 18,$$

Пробег АТС в АТСПГ ($l_{\text{мал},i}$, км):

$$l_{\text{мал}1} = l_M \cdot z_{e1} - l_x = 2 \cdot 13 - 1 = 25,$$

$$l_{\text{мал}2} = l_M \cdot z_{e2} - l_x = 2 \cdot 12 - 1 = 23,$$

Фактическое время работы АТС в АТСПГ ($T_{\text{м.ф},i}$, ч):

$$T_{\text{м.ф},1} = \left[\frac{l_{\text{мал}1}}{V_m} \right] + \sum_1^{Ze1} t_{np} = \left[\frac{25}{25} \right] + \sum_1^{13} 0,53 = 7,89,$$

$$T_{\text{м.ф},2} = \left[\frac{l_{\text{мал}2}}{V_m} \right] + \sum_1^{Ze2} t_{np} = \left[\frac{23}{25} \right] + \sum_1^{12} 0,53 = 7,28,$$

Выработка в тоннах группы АТС в малой ненасыщенной АТСПГ (Q_n , т):

$$Q_n = \sum_1^{A_e'} Q_2 = 19,5 + 18 = 37,5,$$

Выработка в тонно-километрах группы АТС в малой ненасыщенной АТСПГ (P_n , т·км):

$$P_n = \sum_1^{A_i} P_2 = 19,5 + 18 = 37,5,$$

Пробег группы АТС, в малой ненасыщенной АТСПГ ($L_{\text{мал}}$, км):

$$L_{\text{мал}} = \sum_1^{A_i} l_{\text{мал}2} = 25 + 23 = 48.$$

Под $l_{\text{мал}}$ понимается суммарный пробег АТС без нулевых пробегов, так как арендованный транспорт подается в пункт погрузки к назначенному времени и с пункта последней разгрузки направляется на место постоянного базирования.

Суммарное время работы группы АТС в малой ненасыщенной АТСПГ ($T_{\text{мал}}$, ч):

$$T_{\text{мал}} = \sum_1^{A_i} T_{\text{м.ф}2} = 7,89 + 7,28 = 15,17.$$

Результаты расчета ТЭП работы арендных АТС приведены в табл. 2.

Где: Коэффициент использования оплаченного времени, определяемый как отношение $T_{\text{м.ф},i} / T_{\text{ми}}$.

Таблица 2 – Результаты расчета работы группы АТС в малой ненасыщенной АТСПГ при $l_g = 1$ км

№ АТС	Т _м , ч	Ze, ед.	ΔТ _м , ч	ze', ед.	Qден _г , т.	Рден _г , т·км	l _м , км	Т _{м.ф.г} , ч.	Копл
1	8,000	13,000	0,070	0,000	19,500	19,500	25,000	7,890	0,986
2	7,735	12,000	0,415	0,000	18,000	18,000	23,000	7,280	0,941
Σ	15,735	25,000	-	-	37,500	37,500	48,000	15,170	Копл. ср=0,964

Оплата за работу арендного АТС производится от времени прибытия в пункт погрузки и до момента окончания последней разгрузки.

Фактически отработанное время перевозок грузов (Т_{м.ф.г}) каждого АТС в малой АТСПГ не округляем, поскольку на практике возможно, как округление до 0,5 ч, так и тарификация за каждые 10-15 минут.

Как рекомендовал автор модели малой АТСПГ, д.т.н., проф. Николин В.И. для проверки расчетов требуется построение расписания. При построении расписания учитывается следующее [1]:

1. Время на нулевые пробеги не учитывается, так как АТС подается к месту погрузки, указанному клиентом в заявке (заказе).

2. Под погрузку АТС подаются последовательно друг за другом, с начала рабочей смены.

3. Обед водителя может быть как в пунктах погрузки, разгрузки, так и в пунктах питания на маршруте.

4. Если разгрузка АТС не может быть завершена до 17:00, погрузка на эту езду не производится.

В результате построения расписания результаты расчета работы группы АТС в малой АТСПГ могут не измениться (таблица 3).

Расчет затрат по аренде АТС, предоставленных по часовым тарифам на смену, выполнен по формуле 1:

$$C_{ap} = \sum T_{mi} \cdot T_{ap} + T_{под} \cdot A, \quad (1)$$

где: T_{ap} – стоимость одного часа аренды АТС руб./ч;

$T_{под}$ – стоимость подачи АТС к месту погрузки, руб.;

A – количество поданных к погрузке АТС, ед.

Так как многие предприятия при аренде заказчиком АТС на время более трех часов не взимают плату за подачу АТС, представим расчет затрат по аренде АТС по формуле 2:

$$C_{ap}' = \sum T_{mi} \cdot T_{ap}', \quad (2)$$

Согласно тарифам предприятия «Авто-Гис» [6], стоимость одного часа работы АТС грузоподъемностью 1,5 т составляет 400 руб/ч, стоимость подачи 50 руб. Таким образом:

$$C_{ap} = 15,17 \cdot 400 + 50 \cdot 2 = 6168 \text{ руб.}$$

$$C_{ap}' = 15,17 \cdot 400 = 6068 \text{ руб.}$$

Расчеты ТЭП работы арендных АТС в малой ненасыщенной АТСПГ, при l_g в интервале от 2 до 90 км, выполнены аналогично вышеизложенному расчету и представлены в табл. 3.

По данным табл. 3 построена зависимость затрат по аренде группы АТС от изменения расстояния перевозок торговых грузов (рис. 1).

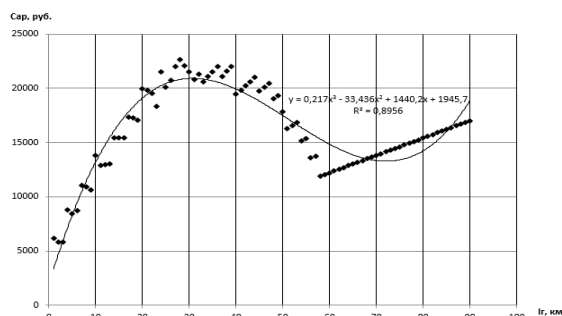


Рисунок 1 – Зависимость $C_{ap} = f(l_g)$ при $l_g = 1, 2, 3 \dots 90$ км, $\Delta l_g = 1$ км

По результатам представленным в таблице 3, на основе регрессионного анализа в MSEXCEL получена функциональная зависимость затрат по аренде группы АТС от расстояния перевозок торговых грузов при $l_g = 1, 2, 3 \dots 90$ км (рис.1), представляющая собой полином 3-й степени, уравнение которой имеет вид:

$$C_{ap} = 0,217l_g^3 - 33,436l_g^2 + 1440,2l_g + 1945,7 \quad (3)$$

Таблица 3 – Исследование влияния расстояния перевозок торговых грузов на затраты по аренде АТС (q=1,5т) в городах (с учетом затрат на подачу)

l _г , км.	Аэ', ед.	Аэ, ед.	Зе, ед.	Qдены, т	Тм.ф.и, ч	Сар, руб.	l _г , км.	Аэ', ед.	Аэ, ед.	Зе, ед.	Qдены, т	Тм.ф.и, ч	Сар, руб.
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	2,00	2,00	25,00	37,50	15,17	6168,00	46	15,00	10,00	16,00	24,00	48,96	20084,00
2	2,00	2,00	21,00	31,50	14,33	5832,00	47	16,00	10,00	16,00	24,00	49,84	20436,00
3	2,00	2,00	19,00	28,50	14,39	5856,00	48	16,00	10,00	15,00	22,50	46,35	19040,00
4	3,00	3,00	26,00	39,00	21,62	8798,00	49	16,00	10,00	15,00	22,50	47,15	19360,00
5	3,00	3,00	23,00	34,50	20,79	8466,00	50	17,00	10,00	14,00	21,00	43,42	17868,00
6	3,00	3,00	22,00	33,00	21,50	8750,00	51	17,00	10,00	13,00	19,50	39,53	16312,00
7	4,00	4,00	26,00	39,00	27,22	11088,00	52	17,00	10,00	13,00	19,50	40,17	16568,00
8	4,00	4,00	24,00	36,00	26,80	10920,00	53	18,00	10,00	13,00	19,50	40,81	16824,00
9	4,00	4,00	22,00	33,00	26,06	10624,00	54	18,00	10,00	12,00	18,00	36,60	15140,00
10	5,00	5,00	27,00	40,50	33,91	13814,00	55	18,00	10,00	12,00	18,00	37,16	15364,00
11	5,00	5,00	24,00	36,00	31,64	12906,00	56	18,00	10,00	11,00	16,50	32,71	13584,00
12	5,00	5,00	23,00	34,50	31,87	12998,00	57	19,00	10,00	11,00	16,50	33,19	13776,00
13	5,00	5,00	22,00	33,00	31,94	13026,00	58	19,00	10,00	10,00	15,00	28,50	11900,00
14	6,00	6,00	25,00	37,50	37,89	15456,00	59	19,00	10,00	10,00	15,00	28,90	12060,00
15	6,00	6,00	24,00	36,00	37,92	15468,00	60	20,00	10,00	10,00	15,00	29,30	12220,00
16	6,00	6,00	23,00	34,50	37,79	15416,00	61	20,00	10,00	10,00	15,00	29,70	12380,00
17	7,00	7,00	25,00	37,50	42,49	17346,00	62	20,00	10,00	10,00	15,00	30,10	12540,00
18	7,00	7,00	24,00	36,00	42,24	17246,00	63	21,00	10,00	10,00	15,00	30,50	12700,00
19	7,00	7,00	23,00	34,50	41,83	17082,00	64	21,00	10,00	10,00	15,00	30,90	12860,00
20	8,00	8,00	26,00	39,00	48,98	19992,00	65	21,00	10,00	10,00	15,00	31,30	13020,00
21	8,00	8,00	25,00	37,50	48,53	19812,00	66	21,00	10,00	10,00	15,00	31,70	13180,00
22	8,00	8,00	24,00	36,00	47,92	19568,00	67	22,00	10,00	10,00	15,00	32,10	13340,00
23	8,00	8,00	22,00	33,00	44,78	18312,00	68	22,00	10,00	10,00	15,00	32,50	13500,00
24	9,00	9,00	25,00	37,50	52,61	21494,00	69	22,00	10,00	10,00	15,00	32,90	13660,00
25	9,00	9,00	23,00	34,50	49,19	20126,00	70	23,00	10,00	10,00	15,00	33,30	13820,00
26	9,00	9,00	23,00	34,50	50,67	20718,00	71	23,00	10,00	10,00	15,00	33,70	13980,00
27	10,00	10,00	24,00	36,00	53,76	22004,00	72	23,00	10,00	10,00	15,00	34,10	14140,00
28	10,00	10,00	24,00	36,00	55,28	22612,00	73	24,00	10,00	10,00	15,00	34,50	14300,00
29	10,00	10,00	23,00	34,50	53,95	22080,00	74	24,00	10,00	10,00	15,00	34,90	14460,00
30	11,00	10,00	22,00	33,00	52,46	21484,00	75	24,00	10,00	10,00	15,00	35,30	14620,00
31	11,00	10,00	21,00	31,50	50,81	20824,00	76	24,00	10,00	10,00	15,00	35,70	14780,00
32	11,00	10,00	20,00	31,50	52,09	21336,00	77	25,00	10,00	10,00	15,00	36,10	14940,00
33	11,00	10,00	20,00	30,00	50,20	20580,00	78	25,00	10,00	10,00	15,00	36,50	15100,00
34	12,00	10,00	20,00	30,00	51,40	21060,00	79	25,00	10,00	10,00	15,00	36,90	15260,00
35	12,00	10,00	20,00	30,00	52,60	21540,00	80	26,00	10,00	10,00	15,00	37,30	15420,00
36	12,00	10,00	20,00	30,00	53,80	22020,00	81	26,00	10,00	10,00	15,00	37,70	15580,00
37	13,00	10,00	19,00	28,50	51,51	21104,00	82	26,00	10,00	10,00	15,00	38,10	15740,00
38	13,00	10,00	19,00	28,50	52,63	21552,00	83	27,00	10,00	10,00	15,00	38,50	15900,00
39	13,00	10,00	19,00	28,50	53,75	22000,00	84	27,00	10,00	10,00	15,00	38,90	16060,00
40	14,00	10,00	17,00	25,50	47,41	19464,00	85	27,00	10,00	10,00	15,00	39,30	16220,00
41	14,00	10,00	17,00	25,50	48,37	19848,00	86	27,00	10,00	10,00	15,00	39,70	16380,00
42	14,00	10,00	17,00	25,50	49,33	20232,00	87	28,00	10,00	10,00	15,00	40,10	16540,00
43	14,00	10,00	17,00	25,50	50,29	20616,00	88	28,00	10,00	10,00	15,00	40,50	16700,00
44	15,00	10,00	17,00	25,50	51,25	21000,00	89	28,00	10,00	10,00	15,00	40,90	16860,00
45	15,00	10,00	16,00	24,00	48,08	19732,00	90	29,00	10,00	10,00	15,00	41,30	17020,00

Коэффициент детерминации уравнения (3) R^2 показывает долю меры разброса (дисперсии) зависимой переменной (в нашем примере, затрат по аренде группы АТС), объясняемую рассматриваемой моделью [7].

Для статистической оценки точности уравнения связи используется также средняя ошибка аппроксимации [8]. Чем меньше теоретическая линия регрессии (рассчитанная по уравнению) отклоняется от фактической (эмпирической), тем меньше средняя ошибка аппроксимации. В нашем примере она составляет 7,49%, что вполне допустимо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коэффициент детерминации уравнения достаточно высокий ($R^2=0,8956$), что говорит о хорошей способности уравнения. Средняя относительная ошибка аппроксимации (7,49%) позволяет утверждать, что регрессионная зависимость влияния расстояния перевозок грузов на затраты по аренде группы АТС на маятниковом маршруте с обратным негруженным пробегом в малой ненасыщенной АТСПП адекватно описывает исследуемый процесс.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылова К. П., Витвицкий Е.Е. Анализ результатов исследования работы группы арендных автотранспортных средств / К. П. Крылова, Е. Е. Витвицкий // Развитие теории и практики автомобильных перевозок,

транспортной логистики : сборник научных трудов кафедры «Организация перевозок и управление на транспорте» в рамках Международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации», 7-9 декабря 2016 г. / под ред. Е. Е. Витвицкого. – Электрон. дан. – Омск: СибАДИ, 2016. – С. 215-219.

2. Николин В. И. Автотранспортный процесс и оптимизация его элементов / В.И. Николин. – М.: Транспорт, 1990. – 191 с.

3. Николин В. И. Справочник по коммерческой эксплуатации грузовых автомобилей (Часть 1) / В. И. Николин, А. В. Терентьев, М. Г. Рихтер. – Омск, 1991. – 112 с.

4. Витвицкий Е.Е. Теория транспортных процессов и систем (Грузовые автомобильные перевозки) / Е.Е. Витвицкий. – Учебник. 2 изд. испр. и доп. – Омск : СибАДИ, 2014. – 216 с.

5. Афанасьев Л.Л. Автомобильные перевозки / Л.Л. Афанасьев, С.М. Цукерберг. – М.: Транспорт, 1973. – 320 с.

6. Грузотакси [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://авто-гис.рф>.

7. Завадский Ю.В. Статистическая обработка эксперимента в задачах автомобильного транспорта / Ю.В.Завадский. – М.: МАДИ. – 1982. – 15 с.

8. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: Учеб. пособие / Г.В.Савицкая. – 7-е изд., испр. – Мн.: Новое знание, 2002. – 704 с.

INFLUENCE OF TRANSPORTATION DISTANCE ON THE COST OF RENTAL GROUP VEHICLES IN THE CITY

K.P. Krylova, E.E. Vitvitskiy,

Annotation. The article considers the theory and practice of rental group vehicles in the transportation of commercial cargo on the pendulum route with reverse not loaded mileage in the cities. Transportation is carried out by vehicles of the same capacity and same brand, a method of accomplishment of handling works— manually. Dependence of the cost of rental group vehicles from the change of transportation distance is established. Check installed dependencies on the adequacy to process of costs forming is executed.

Keywords: dependence of costs, rent, group of vehicles, distance of cargo transportation, adequacy.

REFERENCES

1. Krylova K. P., Vitvitskiy E.E. Analiz rezul'tatov issledovaniya raboty gruppy arendnykh avtotransportnykh sredstv / K. P. Krylova, E. E. Vitvitskiy // Razvitie teorii i praktiki avtomobilnykh perevozok, transportnoy logistiki: sbornik

nauchnykh trudov kafedry «Organizatsiya perevozok i upravlenie na transporte» v ramkah Mezh-dunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Arhitekturno-stroitel'nyy i dorozhno-transportnyy kompleksey: problemy, perspektivy, novatsii» (7-9 December), Omsk, "SibADI", 2016, pp. 215-219.

современном производстве разрабатываются новые теории и практические рекомендации по организации труда. В данной работе рассмотрена концепция качества трудовой жизни, задающая вектор развития организации труда инновационного предприятия и ряд подходов к реорганизации внутренней среды предприятия на основе развития социотехнологических систем, создания быстро реагирующего производства и перехода к новому типу организации труда, предложенному Ф. Лалу в рамках концепции «бирюзовой организации».

ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА

Организация труда как способ, связывающий технологию производства и персонал в единое целое, зависит, с одной стороны, от достижений научно-технического прогресса, задающих роль человека в технологическом процессе, с другой стороны, от оценки работодателем компетенций, потребностей, мотивов и стимулов к труду работников. При этом можно согласиться с Ф. Лалу в том, что руководство многих предприятий следующим образом оценивает своих работников и относит их к категории:

- лентяи, за которыми необходим постоянный контроль над использованием рабочего времени;
- работники с сомнительным качеством выполнения работы (работу необходимо проверять и перепроверять);
- работники с преобладающим меркантильным интересом (трудятся прежде всего ради денег, на этом основаны системы стимулирования);
- работники, склонные к присвоению имущества предприятия;
- работники, подверженные сильному влиянию патерналистских отношений руководителя предприятия - работник, не способные принимать правильные решения;
- работники, имеющие слабую ответственность за свои действия или решения, влияющие на эффективность предприятия;
- работники взаимозаменяемы как части механизма [2, с. 137-139].

Вышеобозначенные характерные черты персонала выделены уже в первых работах по научной организации труда Ф. Тейлора, Ф. Гилбрета, Г. Форда. Действительно, в первой половине XX века труд можно было описать следующими признаками: преимущественно физический; репродуктивный; несодержатель-

ный, ввиду пооперационного разделения на конвейерной линии; узкоспециализированный; низкоквалифицированный; низкооплачиваемый; выполняемый в небезопасных условиях труда. Выделенные признаки, характеризующие трудовую деятельность, имеют место и в современных условиях, назвать их передовыми и соответствующими современному уровню развития технологии невозможно. При этом не удовлетворяются базовые потребности работников с позиции их классификации по пирамиде Маслоу. Применительно к трудовой сфере базовые потребности включают обеспечение безопасных и здоровых условий труда, достаточной оплаты труда и гарантий занятости. В. Ф. Потуданская в своих работах адаптировала зарубежную концепцию качества трудовой жизни (КТЖ), выделив данные элементы в основной блок КТЖ [4, с. 11]. Удовлетворение требований основного блока первично по отношению к потребностям работника более высокого уровня (в развитии и самореализации).

Развитие индустрии к XX – н. XXI и формирование новой индустриальной революции на основе киберфизических систем, называемой индустрия 4.0, формирует качественно иные предпосылки для развития социально-трудовых отношений. Содержание труда работников инновационных предприятий определяется:

- повышением квалификационной сложности выполняемых трудовых функций и интеллектуализацией труда, оператор автоматизированной системы должен обладать знаниями в области математики, материаловедения, техники и программирования;
- поливалентностью (многопрофильностью) труда, на основе овладения смежными профессиями и объединения функций прежде разных работников;
- самостоятельным принятием решений о рациональном использовании ресурсов, разработкой методов и способов выполнения работы;
- повышением активности в подготовке и организации производства, вместо непосредственного воздействия на предмет труда;
- формированием целостной трудовой деятельности на базе сокращения количества работников, ответственных за создание законченной части продукта. Стало возможным с развитием автоматизированных обрабатывающих комплексов (фактический коэффициент замещения рабочих мест для предприятия ОАО «Высокие технологии» составил 1 комплекс к 39 рабочим местам старого типа).

Таблица 1 – Сравнение подходов к реорганизации внутренней среды предприятия с позиции развития организации труда

Критерий сравнения	Социотехнологическая система (STS)	Быстрореагирующее производство (QRM)	Бирюзовая организация (Teal organization)
Структура управления	низкоиерархичная, руководителю подразделения подчинены полуавтономные группы	ячеистая / продуктовая	динамичная структура межличностных взаимодействий без уровней управления
Разделение труда	частичный отказ от функционального разделения работы, параллелизация трудовых процессов по рыночным сегментам / продуктам / территориям		
Обучение персонала	обучение знаниям и навыкам, необходимым для эффективной работы, стимулирование обучения смежным профессиям		развитие организационной культуры для всего персонала, индивидуально под личную ответственность
Формы занятости	развитие нестандартной занятости на основе гибких графиков работы и удаленного труда		
Участие в принятии решений	самостоятельное распоряжение ограниченными сверху ресурсами рабочей группы, механизмы косвенного участия в управлении		принятие всех решений на основе процедуры консультирования, нет ограничений по объему ресурсов
Обогащение и содержательность труда	поливалентность труда, рабочая группа выполняет законченную часть технологического процесса	труд работников ячейки над законченной частью технологического процесса	самоуправляемые команды с плавающими обязанностями отдельных работников, отсутствие руководителей
Ротация и возможности карьерного роста	ротация в полуавтономной группе	ротация в многофункциональной ячейке	свободное перераспределение обязанностей в организации с прогрессивной ротацией
	формирование кадрового резерва		
Оплата труда	на основе результатов работы полуавтономной группы (коллективный KPI)	на основе конечных результатов ячейки	постоянный оклад (или коэффициенты трудового участия) и равное участие в прибыли

Таким требованиям должны отвечать и работники, обладающие соответствующим образованием, высоким интеллектуальным потенциалом и уровнем культуры труда. Можно согласиться с известными исследователями Д. Бакке и Ф. Лалу, которые выделяют характерные черты работников предприятий с новым типом организации труда:

- способны к творческому труду и принятию решений, затрагивающих экономические показатели предприятия, т.е. могут быть вовлечены в принятие управленческих решений;
- несут ответственность за принятые решения и действия в рамках имеющихся полномочий;
- желают самореализации на рабочем месте через развитие продукта и предприятия,

достижение целей корпоративной социальной ответственности;

- могут совершать ошибки в процессе поиска правильного решения;
- вносят каждый свой уникальный вклад в общее дело;
- достойны уважения, доверия, надежны пока не доказано обратное [7, с. 72, 2, с. 139].

Предполагается, что труд работников современного предприятия значительно производительнее, это позволяет обеспечивать достойный уровень заработной платы; потеря работника для предприятия оборачивается значительными издержками на поиск и адаптацию нового работника, сопровождается снижением выпуска в данный период времени и вызывает необходимость в разработке

мер по закреплению персонала; гуманизация технологии позволяет в отдельных случаях снизить негативное воздействие опасных и вредных условий труда. Таким образом, реализация требований основного блока обеспечения КТЖ на передовых предприятиях создает возможность мотивации работников через инструменты дополнительного блока: обучение и развитие персонала, обогащение и содержательность труда, развитие трудовой демократии, организационной культуры и т.д. Концепция качества трудовой жизни призвана обеспечить наиболее полное использование трудового потенциала персонала на основе создания условий для работника широкого профиля, способного решать творческие задачи, такие как рационализаторство, внедрение новых технологий, и включаться в процесс принятия управленческих решений. Основой обеспечения КТЖ является создание соответствующей организации труда.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТРУДА

Рассмотрим тенденции развития организации труда по направлениям качества трудовой жизни на основе теории социотехнологических систем (СТС), быстрореагирующего производства (QRM) и формирования бирюзовых организаций (табл. 1). Выбор концепций определяется их направленностью на формирование инновационно активного предприятия, которое способно адаптироваться к изменениям окружающей среды, оставаясь при этом внутренне устойчивым.

Хронологически первой является теория СТС, появление которой связано с внедрением новых технологий, обеспечением наиболее рационального использования трудовых и материальных ресурсов предприятия через взаимную адаптацию социальной и технологической подсистем. Базовым элементом организации труда выступает полуавтономная рабочая группа, состоящая из работников, обладающих смежными профессиями и свободно замещающими друг друга. Развитие социальной подсистемы направлено на обеспечение высокого уровня КТЖ на основе ротации кадров; вовлечения работников в управление; снижения давления на работника излишней регламентации труда (принцип минимальной необходимой детализации заданий); ориентации информационных потоков на работников, которые могут принять решение на месте без необходимости согласования с вышестоящим

руководством. Экономической основой роста КТЖ выступает повышение производительности труда в целом по предприятию за счет уменьшения количества уровней управления (сокращения административно-управленческого штата), сокращения простоев (на основе поливалентности труда) и расширения рационализаторской деятельности. В рамках данной теории в 1980-х происходит смена функционального подхода к построению структуры управления предприятием на принципах параллелизации заданий и сегментации процесса производства [8, с. 296]. Данный подход позволил сократить вариативность заданий для группы работников, что облегчает выполнение работы и ускорил накопление опыта группы в конкретном сегменте рынка. В 90-х годах произошел окончательный переход от «механистического» подхода к построению СТС к «социальному преобразованию технологии», которое заключается в адаптации технологических новшеств к внутренней структуре и организационным ролям работников.

Современные рекомендации в области организационного дизайна предполагают выход за пределы одного предприятия и образование межорганизационных групп для решения задач, касающихся обеспечения своевременности и качества поставок, ведения исследовательских и опытно-конструкторских работ. Необходимым элементом для функционирования межорганизационных групп является нестандартная занятость, основанная на различных формах аморфного времени, гибких графиков работы, аутсорсинга и удаленного труда, который позволяет привлекать работников, обладающих необходимым знанием и опытом вне зависимости от его фактического местонахождения. Удаленный труд в целом становится все более «стандартной» занятостью. По данным портала hh.ru на 12 марта 2017 г. только в России было 13 056 вакансий удаленной работы, что составляет около 4% от общего количества объявлений. По данным опросов 9 из 10 человек «поколения Y» предпочитают удаленный труд; 10% работников в Евросоюзе иногда работают удаленно, 5% не обязаны ежедневно посещать офис и 3% постоянно работают из дома; в США до 36% работающего населения трудятся с использованием удаленного труда [1]. Таким образом, потенциал нестандартной занятости в России еще только предстоит освоить, в том числе на основе создания социотехнологических систем включающих несколько предприятий и привлечение внешних экспертов.

Описание быстрореагирующего производства (QRM), впервые опубликованное Р. Сури в 1998 г., создано в ответ на изменение требований рынка к дифференциации выпуска в соответствии с требованиями заказчика. QRM наиболее применима для организации мелкосерийного производства [3, с. 183]. Ключевым понятием выступает время и его использование на выпуск продукции от момента поступления заказа до его отгрузки. Концепция разделяет все время, затрачиваемое на выполнение заказа, на белое – межоперационные временные потери и серое – время работы. Организация труда построена вокруг QRM-ячейки – набора независимых, сочетаемых друг с другом многофункциональных ресурсов, способных выполнить последовательность операций для всех работ, относимых к конкретному сфокусированному целевому рыночному сегменту [5, с. 90]. Ячейка выполняет законченную часть бизнес-процесса как отдельное подразделение, например, согласование технического задания, выполнение расчетов сметы и согласование всех условий договора вместо 3 отдельных функциональных подразделений предприятия. По мнению К. В. Шпиловой основной особенностью QRM-ячеек является многофункциональность ресурсов, приводящая к сокращению критического пути продукта за счет обучения работников смежным профессиям [6, с. 115]. Таким образом, для организации труда в рамках концепции QRM характерно: наличие замкнутых в ячейке контрольных процедур; параллелизация трудовых процессов по рыночным сегментам (продуктам); значительная степень автономии ячейки; коллективная форма организации труда; оплата труда на основе конечных результатов работы ячейки; поливалентность (многопрофильность) труда; локализация сотрудников ячейки в едином и обособленном пространстве; оценка эффективности труда на основе скорости прохождения критического пути продукта.

В 2014 г. вышла книга Ф. Лалу, в которой описано исследование опыта организации труда компаниями нового типа, которых автор назвал «Бирюзовыми организациями» или «Эволюционными». Подробный анализ и сравнение концепций (табл. 1) позволяет сделать вывод, что многие базовые элементы бирюзовой организации основаны на положениях, разработанных в рамках концепций СТС и QRM:

- определяющим элементом выделена самоуправляемая команда, но при этом совер-

шен полный отказ от института руководства, который заменен коучингом (от англ. тренер). Ни один человек, включая директора, не имеет власти приказывать другому, при этом решения принимаются через механизм консультирования со всеми вовлеченными сторонами [2, с. 86-97];

- в основе большинства описанных предприятий лежат принципы параллелизации заданий по рыночным сегментам или продуктам:

- идея ротации между многопрофильными работниками, присутствующая в теории СТС и QRM доведена до своего максимума на основе отказа от формального названия должностей и свободного перераспределения обязанностей между работниками по мере появления новых и решения существующих задач, соответственно, ротация включает и горизонтальную и вертикальную;

- ориентация потоков информации на соответствующую рабочую группу эволюционировала в полную открытость всей информации для каждого сотрудника, в том числе финансовой и по заработной плате, которая устанавливается на основе выполняемых обязанностей в виде твердого оклада или через механизм коэффициентов трудового участия при обязательном равном распределении потребляемой части прибыли между всеми работниками, что укрепляет механизмы самоорганизации и ответственность за принимаемые решения, затрагивающие экономические показатели;

- преодоление механистического отношения к предприятию и замена его органическим. Бирюзовые организации концептуально являются самостоятельными живыми организациями, которые эволюционно растут и развиваются, и имеют собственную «высокую» цель, которую работники могут распознать, используя специальные методы.

Таким образом, бирюзовую организацию можно рассматривать как эволюционное развитие идей коллективных форм организации труда, экономической демократии, обогащения труда, гибких форм занятости, органического подхода к организации, обеспечивающих наивысший уровень качества трудовой жизни.

На рис. 1 показана трансформация организации труда, при этом социокультурные и технологические условия функционирования предприятия определяют особенности организации труда. Рассмотренные условия первой половины XX века сформировали устойчивый стандарт организации труда с функциональным делением работ по отделам, высокой иерархией, незамкнутыми контрольными про-



Рисунок 1 – Трансформация организации труда в XX-XXI веках

цедурами, пронизывающими всю структуру сверху-вниз. Руководство такой организацией осуществляется по принципу «командуй и контролируй», любое решение требует формирования комиссии более высокого уровня из представителей разных отделов для обеспечения необходимого объема информации. На формирование принципов организации труда оказала влияние и ведущая наука, которой в XX веке была техника, соответственно, и предприятие сравнивали с механизмом, где каждый человек – это стандартная, заменяемая деталь. Жесткость данной организационной метафоры противоречит современным тенденциям развития нестандартной занятости, гибкости рабочего времени, наделения работников правом принятия решений, затра-

гивающих экономические показатели работы предприятия.

Научно-технический прогресс, с одной стороны, стал основой повышения образовательного уровня работников, а с другой стороны, позволил создать более гуманные технологии, автоматизированную и производительную технику, на этой основе значительно выросла производительность труда и уровень качества трудовой жизни работников, актуальной стала задача активизации человеческого фактора. Реализация данной задачи возможна через коренное преобразование основных характеристик стандартной организации труда на базе современных концепций, которые сходятся в том, что основой современного инновационного предприятия является многопрофильный

труд работников, объединенных в обособленные группы, наделение работников правом принятия управленческих решений и оплата труда на основе конечных результатов работы предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, трансформация социокультурных и технологических условий функционирования предприятия во второй половине XX – начале XXI века привела к значительному изменению содержания и характера труда работников и превращению человека в ключевой элемент инновационной экономики, но организация труда на многих предприятиях сохранила свои основные черты, сокращая возможности использования трудового потенциала персонала. Преодолеть данное противоречие позволяют современные подходы к реорганизации внутренней среды предприятия, имеющие единое основание в области организации труда: разделения и кооперации труда, нормирования и оплаты труда, структуры управления, повышения квалификации работников, организации труда на рабочих местах и условий труда.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гайсина, И. Бомжи нового типа: как работают компании без офисов [Электронный ресурс] / И. Гайсина // РосБизнесКонсалтинг. – URL: http://www.rbc.ru/own_business/10/03/2017/58c27cf89a79473a18a8f7df
2. Лалу, Ф. Открывая организации будущего / Ф. Лалу ; пер. с англ. В. Кулябиной ; [науч. ред. Е. Голуб]. – 2-е изд. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2017. – 432 с.
3. Марков, Д. А. Быстрореагирующее производство как концепция повышения конкурентоспособности предприятия / Д. А. Марков, Н. А. Маркова // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. – 2016. – №2. – С. 181-192.
4. Потуданская, В. Ф. Качество трудовой жизни как индикатор социально-экономического положения региона / В. Ф. Потуданская // Актуальные проблемы труда и социальной политики: Материалы регион. науч.-практ. конф. – Омск, 2003. – С. 9-11.
5. Сури, Р. Время – деньги. Конкурентное преимущество быстрореагирующего производства / пер. с англ. В.В. Делюхина. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 326 с.
6. Шипилова, К. В. Перспективы применения концепции Quick Response Manufacturing на российских промышленных предприятиях / К. В. Шипилова, И. А. Суров // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). – 2016. – Т. 7, № 3 (27). – С. 112-119.
7. Bakke, D. W. Joy at work: A revolutionary approach to fun on the job / D. W. Bakke. –USA, Seattle: PVG, 2006. – 314 p.
8. van Eijnatten, F. M. The Dutch IOR approach to organizational design : an alternative to business process re-engineering? / F. M. van Eijnatten, Ad H. van der Zwaan // der Human Relations. – 1998. – Vol. 51, №. 3. – P. 289-318.

MODERN TRENDS OF LABOUR ORGANIZATION DEVELOPMENT ON INDUSTRIAL ENTERPRISES

M. S. Mizya, V. F. Potudanskaya

Abstract. Article is devoted to review of concepts of sociotechnological systems, quick responsive manufacturing and teal organizations from the perspective of labor organization. Ways of level of quality of working life improving are used as a base for concepts comparison. This ways is considered as a modern vector of labor organization development. It is argued that recent socio-cultural and technological conditions of enterprise functioning cause the need of transformation of labor organization in order to provide better labor potential utilization.

Keywords. Labor organization, teal organization, quick responsive manufacturing, sociotechnological system, content of work.

REFERENCES

1. Gajsina I. Bomzhi novogo tipa: kak rabotajut kompanii bez ofisov [New type of homeless : How do companies without offices work]. RosBizne-
- skonsalting. URL: http://www.rbc.ru/own_business/10/03/2017/58c27cf89a79473a18a8f7df
2. Lalu F. Otkryvaja organizacii budushhego [Reinventing Organizations]. Moscow. Mann, Ivanov i Ferber, 2017. 432 p.

8. van Eijnatten F. M., van der Zwaan Ad H.

Potudanskaya Vera Fedorovna (Russian Federation, Omsk) – Doctor of Economics, Professor, Head of the Economic and Labor Organization Chair, Omsk State Technical University (644050, Omsk, Mira Ave., 11, e-mail: economica-omgtu@yandex.ru).