

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Волжский государственный университет водного транспорта

ВЕСТНИК
Волжской государственной академии
водного транспорта

Выпуск 55

Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Н. Новгород, 2018

УДК 004+1+3+15+33+34+37+39+42+53+62+65+68+81+86+93

В 38

В 38 Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 55. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2018. – 202 с.

Редакция: журнала:

Главный редактор	– Кузьмичев И.К. д.т.н., проф.
Первый заместитель главного редактора	– Минеев В.И. д.э.н., проф.
Заместитель главного редактора	– Корнев А.Б. к.т.н., доц.
Заместитель главного редактора	– Отделкин Н.С. д.т.н., проф.
Ответственный редактор	– Митрошин С.Г. к.т.н.
Ответственный секретарь	– Раева О.А.

Редакционная коллегия:

Бажан П.И.	д.т.н., проф.	Безюков О.К.	д.т.н., проф.
Белых В.Н.	д.ф.-м.н., проф.	Бик Ю.И.	д.т.н., проф.
Ваганов А.Б.	д.т.н., доц.	Волков И.А.	д.ф.-м.н., проф.
Воробьев А.В.	д.э.н., проф.	Вычужанин В.В.	д.т.н., проф.
Гаврилов А.И.	д.э.н., проф.	Гирин С.Н.	к.т.н., проф.
Грамузов Е.М.	д.т.н., проф.	Ермаков С.А.	д.ф.-м.н., проф.
Зуев В.А.	д.т.н., проф.	Иванов В.М.	к.т.н., проф.
Казаков Н.Н.	к.т.н., доц.	Клементьев А.Н.	д.т.н., проф.
Корнилов Д.А.	д.э.н., проф.	Королев Ю.Ю.	к.э.н., доц.
Костров В.Н.	д.э.н., проф.	Курников А.С.	д.т.н., проф.
Лаврентьева Е.А.	д.э.н., проф.	Мареев Е.А.	д.ф.-м.н., чл.-кор. РАН
Матвеев Ю.И.	д.т.н., проф.	Мясников Е.Н.	д.ф.-м.н., проф.
Никущенко Д. В.	д.т.н., проф.	Озина А.М.	д.э.н., проф.
Плющаев В.И.	д.т.н., проф.	Роннов Е.П.	д.т.н., проф.
Ситнов А.Н.	д.т.н., проф.	Степанов А.Л.	д.т.н., проф.
Удалов О.Ф.	д.э.н., проф.	Уметалиев А.С.	д.э.н., проф.
Уртминцев Ю.Н.	д.т.н., проф.	Федосенко Ю.С.	д.т.н., проф.
Франк Венде	к.т.н., проф.	Хватов О.С.	д.т.н., проф.
Цветков Ю.Н.	д.т.н., проф.		

Редакционный совет журнала:

Алексеев В.Я. – Генеральный директор ОАО «Порт Коломна»
Бессмертный Д.Э. – Руководитель ФБУ «Администрация волжского бассейна», к.т.н.
Ежов П.В. – Генеральный директор ООО «Си Тех»
Ефремов Н.А. – Первый заместитель генерального директора ФАУ РРР, д.э.н.
Захаров В.Н. – Советник ректора ФГБОУ ВО «ВГУВТ», д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, Почетный работник транспорта России
Мареев Е.А. – Заместитель директора ИПФ РАН по научной работе, д.ф.-м.н., профессор, член-корр. РАН
Мочалина Н.Н. – Первый заместитель министра – начальник Управления природопользования Министерства экологии и природных ресурсов Нижегородской области
Сазонов И.Г. – заместитель Министра промышленности Нижегородской области
Столповицкий К.С. – начальник Управления государственного морского и речного надзора Ространснадзора
Теодор де Йонге – Генеральный директор «Numeriek Centrum Groningen B.V.», Нидерланды
Франк Венде – Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg, ФРГ, PhD
Шаталов В.В. – Генеральный директор ОАО КБ «Вымпел», профессор

Вестник ВГАВТ – журнал широкой научной тематики, посвященный вопросам водного транспорта. Материалы выпуска рекомендуются научным сотрудникам, преподавателям высших учебных заведений, инженерам, аспирантам и студентам соответствующих специальностей.

© ВГУВТ, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел I

Судостроение, судоремонт и экологическая безопасность судна

Бычков В.Я., Грошева Л.С., Плющев В.И.

Расчет сил ветрового воздействия на корпус судна с колесным движительно-рулевым комплексом 11

Грамзов Е.М., Иванова О.А.

Комплексное исследование пространственных колебаний плавучих объектов и параметров их стабилизации в опытовом бассейне 21

Купальцева Е.В., Роннов Е.П.

Обоснование элементов и характеристик пассажирских судов с электродвижением для внутригородских и пригородных линий 34

Лебедева С.В., Мерзляков В.И.

Анализ влияния демпфирования воды на границу устойчивости системы управления судном с колесным движительно-рулевым комплексом 41

Любимов В.И.

Особенности архитектурно-конструктивного типа современных речных круизных судов 49

Роннов Е.П., Преснов С.В., Кочнев Ю.А.

Расчёт и исследование усилий, возникающих в автосцепе толкаемого состава при ходе на волнении 55

Францев М.Э.

Проектное обоснование выбора материала среднего слоя надстройки из композитов пассажирского судна на подводных крыльях 63

Шабаров В.В., Чекарев Д.Т., Туманин А.В., Пеплин Ф.С.

Определение демпфирующих сил, возникающих при вертикальных колебаниях судна на воздушной подушке на крейсерском режиме движения 73

Раздел II

Финансовые и учетно-аналитические проблемы современной экономики

Бастрыкин С.В., Рудикова Е.Д.

Совершенствование системы статистического обеспечения органов государственного управления как инструмент повышения экономической безопасности территории 85

Королев Ю.Ю., Мышковец Ю.А.

Особенности и преимущества использования метода Activity Based Costing (ABC) 93

Сатаева Д.М.

Управление документированной информацией: подход на основе ISO 9001:2015 100

Телегус А.В., Кручинин М.В.

Транспортные расходы при командировании сотрудников: правовые и налоговые аспекты по НДС 110

Раздел III

Экономика, логистика и управление на транспорте

Веселов Г.В., Иванов М.В., Минеев В.И., Митрошин С.Г.

Обоснование целесообразности дотирования высокоскоростных водных пассажирских перевозок в Приволжском федеральном округе 119

Жаворонков Н.А., Зарецкая Е.В., Митрошин С.Г.

Транспортно-технологические мультимодальные системы с участием внутреннего водного транспорта как одного из ключевых интегрирующих элементов 124

Задровский П.В., Фролова О.Н.

Методологический аспект анализа тенденций развития транспортного комплекса региона (на примере Пермского края) 133

Кегенбеков Ж.К., Тюлюбаева Д.М., Гармаш О.В.

Профессиональный портрет экспедитора в Казахстане 141

Мордовченков Н.В., Сироткин А.А.

Современные теоретические и практические направления инновационной деятельности в транспортно-логистической сфере 148

Цверов В.В., Пучкова А.В.

Совершенствование процесса складского обслуживания как фактор повышения надежности доставки в срок 154

Раздел IV

Эксплуатация водного транспорта, судовождение и безопасность судоходства

Виноградов В.Н., Ивановский Н.В., Новоселов Д.А.

Анализ влияния случайных параметров судна на управляемость и безопасность 169

Чурин М.Ю.

Применение метода Баррасса для расчета величин динамической просадки судов речного флота 181

Янченко А.А.

Научные подходы к исследованию процессов функционирования морских портов и портовых терминалов 185

Раздел V

Эксплуатация судового энергетического оборудования

Самулеев В.И., Гусакова Т.Н.

Особенности применения асинхронных частотно-регулируемых электроприводов земснарядов 195

Federal Agency of Sea and River Transport
Volga State University of Water Transport

BULLETIN
of the Volga State Academy
of Water Transport

Issue 55

VSUWT publishing house
N. Novgorod, 2018

Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport (VSAWT). Iss. 55. – N. Novgorod: VSUWT publishing house, 2018. – 202 p.

Editor-in-chief	– D.Sc.(Tech.) Professor Kuzmichev I.K.
First Deputy Editor	– D.Sc.(Econ.), Professor Mineev V.I.
Deputy Editor-in-chief	– Ph.D. Associate Professor.Kornev A.B
Deputy Editor-in-chief	– D.Sc.(Tech.) Professor Otdelkin N.S.
Contributing Editor	– Ph.D. Associate Professor.Mitroshin S.G.
Executive secretary	– Raeva O.A.

The Editorial Board: of the journal

Bazhan P.I.	D.Sc.(Tech.), Professor	Bezyukov O.K.	D.Sc.(Tech.), Professor
Belykh V.N.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof.	Bik Y.I.	D.Sc.(Tech.), Professor
Vaganov A.B.	Ph.D. Associate Professor	Volkov I.A.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof.
Vorobjov A.V.	Ph.D.(Econ.), Professor	Vychuzhanin V.V.	D.Sc.(Tech.), Professor
Gavrilov A.I.	Ph.D.(Econ.), Professor	Girin S.N.	Ph.D. Associate Professor
Gramuzov E.M.	D.Sc.(Tech.), Professor	Ermakov S.A.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof.
Zuev V.A.	D.Sc.(Tech.), Professor	Ivanov V.M.	Ph.D. Associate Professor
Kazakov N.N.	Ph.D. Associate Professor	Klement'ev A.N.	D.Sc.(Tech.), Professor
Kornilov D.A.	Ph.D.(Econ.), Professor	Korolev Y.Y.	Ph.D. Associate Professor
Kostrov V.N.	D.Sc.(Econ.), Professor	Kurnikov A.S.	D.Sc.(Tech.), Professor
Lavrentieva E.A.	Ph.D.(Econ.), Professor	Mareev E.A.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof.
Matveev Y.I.	D.Sc.(Tech.), Professor	Myasnikov E.N.	D.Sc.(Phys.&Math.), Prof.
Nikushenko D.V.	D.Sc.(Tech.), Professor	Ozina A.M.	Ph.D.(Econ.), Professor
Plushaev V.I.	D.Sc.(Tech.), Professor	Ronnov E.P.	D.Sc.(Tech.), Professor
Sitnov A.N.	D.Sc.(Tech.), Professor	Stepanov A.L.	D.Sc.(Tech.), Professor
Udalov O.F.	Ph.D.(Econ.), Professor	Umetaliev A.S.	Ph.D.(Econ.), Professor
Urtmintsev Y.N.	D.Sc.(Tech.), Professor	Fedosenko Y.S.	D.Sc.(Tech.), Professor
Frank Vende	Ph.D. Associate Professor	Khvatov O.S.	D.Sc.(Tech.), Professor
Tsvetkov Yu.N.	D.Sc.(Tech.), Professor		

The Editorial Council of the journal

Alekseev V.J. – General Director of JSC «Port Kolomna»
 Bessmertnui D.E. – The head of the FBI «The administration of the Volga basin», Ph.D.
 Ezov P.V. – General Director of «Sea Tech»
 Efremov, NA – First Deputy General Director of the State PPP, Ph.D.
 Zakharov V. N. – Advisor to Rector of Volga State University of Water Transport, Professor, Honored Worker of Science and Technology of the R.F., Honored Worker of Transport of Russia
 Mareev EA – Deputy Director of the IAP RAS on scientific work, Dr., Professor, Corresponding Member. RAS
 Mochalina N. N. – First Deputy Minister – the head of the Natural Resources Department of the Nizhny Novgorod region Ecology and Natural Resources Ministry
 Sazonov I.G. – Deputy Minister of Industry of Nizhny Novgorod Region
 Stolovitsky K. S. – the head of the Directorate for State of Maritime and River Supervision of Federal Agency for transport supervisiona
 Theodore de Jonge – General Director of «Numeriek Centrum Groningen BV», The Netherlands
 Frank Wende – Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg, Germany, PhD.
 Shatalov V.V. – General Director of CB «Vympel», Professor

CONTENTS

Section I

Shipbuilding, ship repair, and ecological safety of the ship

Bychkov V.Y., Grosheva L.S., Pluyshchaev V.I.

The calculation of wind force impact on the ship hull with wheel propulsion steering unit «golden ring»..... 11

Gramuzov E.M., Ivanova O.A.

Complex study of spatial fluctuations of floating objects and their stabilization parameters in the experimental basin 21

Kupaltseva E.V., Ronnov E.P.

Substantiation of elements and characteristics of passenger vessels with electric propulsion for intraurban and suburban lines..... 34

Lebedeva S.V., Merzlyakov V.I.

Analysis of the effect of water damping on the stability boundary of a ship steering system with a wheeled propulsion-steering complex..... 41

Lyubimov V.I.

Peculiarities of the substantiation of the architectural-design type of the cruise ship..... 49

Ronnov E.P., Presnov S.V., Kochnev U.A.

Calculation and investigation of the forces arising in the coupler of the pushed convoy during a wave run 55

Frantsev M.E.

Project justification of the choice of the material of the middle layer of the superstructure made up of the composites of a passenger hydrofoil vessel 63

Shabarov V.V., Chekmarev D.T., Tumanin A.V., Peplin F.S.

Determination of Damping Forces of Air Cushion Vehicles in Vertical Motion 73

Section II

Financial and accounting-analytical problems of the modern economy

Bastryekin S.V., Rudikova E.D.

Improvement of the statistical support system of government management bodies as a tool to increase economic security in the territory 85

Karaleu Y.Y., Myshkovets Y.A.

Features and benefits of using the Activity Based Costing Method 93

Sataeva D.M.

Documented information management: ISO 9001:2015 based approach..... 100

Telegus A.V., Kruchinin M.V.

Business trip travel expenses: legal and tax aspects of personal income taxation 110

Section III

Economics, logistics and transport management

Veselov G.V., Ivanov M.V., Mineyev V.I., Mitroshin S.G.

Expediency substantiation of subsidizing of the high-speed water passenger transportation in the Privolzhsky Federal District 119

Zhavoronkov N.A., Zaretskaya E.V., Mitroshin S.G.

Transport and technological multimodal systems with the participation of inland waterway transport as one of the key integrating elements 124

Zadrovsky P.V., Frolova O.N.

Methodological aspect of the analysis of tendencies of the development of the transport complex of the region (using the example of perm region) 133

Kegenbekov Zh.K., Tyulubayeva D.M., Garmash O.V.

Professional portrait of a forwarder in Kazakhstan..... 141

Mordovchenkov N.V., Sirotkin A.A.

Modern theoretical and practical trends of innovative activity in the transport and logistic sphere 148

Tsverov V.V., Puchkova A.V.

Improving the process of the warehouse service as a factor of increasing the reliability of delivery in time..... 154

Section IV

Operation of water transport, navigation and safety of navigation

Vinogradov V.N., Ivanovsky N.V., Novoselov D.A.

The random parameters influence analysis on the vessel manoeuvrability and safety 169

Churin M.Y.

The barrass's method use for the river fleet vessels dynamic drawdown calculation..... 181

Yanchenko A.A.

Scientific Approaches to the Sea Ports and Port Terminals Operating Processes Study 185

Section V

Operation of ship power equipment

Samuleev V.I., Gusakova T.N.

Peculiarities of application of the asynchronous frequency-regulated electric drive at zemsnyaryads..... 195

Раздел I

**Судостроение, судоремонт
и экологическая безопасность судна**

Section I

***Shipbuilding, ship repair,
and ecological safety of the ship***

УДК 629.5.015.3

В.Я. Бычков, студент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Л.С. Грошева, кандидат техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

В.И. Плющаев, зав. кафедрой, доктор техн. наук,

профессор ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

РАСЧЕТ СИЛ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОРПУС СУДНА С КОЛЕСНЫМ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВЫМ КОМПЛЕКСОМ

Ключевые слова: судно, колесно-двигательный рулевой комплекс, ветровое воздействие.

Приведен расчет сил ветрового воздействия на корпус строящегося судно с колесным движительно – рулевым комплексом «Золотое кольцо».

В России продолжается строительство судов с колесным движительно-рулевым комплексом (КДРК) [1]. В настоящее время эксплуатируется 3 судна с КДРК – это пассажирские теплоходы проекта ПКС-40 «Сура», «Колесовъ» и «Доброходъ» [2,3]. Эти суда характеризуются малой осадкой (что очень актуально для речного флота, эксплуатируемого на реках России), хорошими маневровыми качествами, низким расходом топлива. Суда этого типа имеют сравнительно небольшие размеры: длина – 35,8 м, ширина 9,8 м, высота 8,4 м. Сейчас ведется проектирования крупного пассажирского судна «Золотое кольцо», имеющего размеры 81,6 * 13,8 * 9,5 м, пассажировместимостью 180 человек (рис. 1).



Рис. 1. Теплоходы проекта ПКС-40 и ПКС – 180

Суда с КДРК обладают специфическими особенностями – малой осадкой (около 60 см для ПКС-40 и 120 см для ПКС-180) и очень большой парусностью. Как показал опыт эксплуатации теплоходов проекта ПКС-40, ветровые нагрузки существенно

влияют как на динамику, так и на безопасность эксплуатации судов (это характерно для судов всех типов [4,5,6]). Этот эффект, по видимому, в большей степени будет проявляться для судна проекта ПКС-180, длина которого в 2,3 раза превосходит длину эксплуатируемых судов.

Цель данной статьи – изучение влияния ветровой нагрузки на корпус теплохода проекта ПКС-180.

Положение центра масс (ЦМ) смещается относительно миделя в зависимости от загрузки судна в пределах от 0,58 м (для судна с 10% запасов и топлива с пассажирами и с балластом) до 2,05 м (для судна с 10% запасов и топлива с пассажирами на палубе надстройки III яруса). При расчетах будет принята средняя величина 1,3 м, что соответствует судну с 100% запасов и топлива и пассажирами.

Общая площадь боковой проекции составляет 643 м^2 (без учета ограждения верхней палубы, например, при его выполнении в виде крупной сетки). С учетом площади ограждения верхней палубы общая площадь боковой проекции составляет 680 м^2 . Площадь поперечной проекции судна составляет 113 м^2 .

Для расчета ветровой нагрузки судно можно представить в виде параллелепипеда с цилиндрической носовой вставкой. Параллелепипед имеет площадь боковой поверхности около $S_n = 600 \text{ м}^2$, поперечной проекции $S_k = 113 \text{ м}^2$. Переднюю часть судна можно представить в виде цилиндрической вставки высотой $h_u = 8,6 \text{ м}$ и диаметром $2r_u = 13,1 \text{ м}$. Таким образом, общая площадь цилиндрической вставки составит $S_u = 177 \text{ м}^2$. Центр парусности ЦП1 боковой поверхности смещен к корме на 7 м, центр парусности ЦП2 цилиндрической вставки смещен к носу относительно ЦМ на 31 м.

На рис. 2 показаны силы, обусловленные ветровым воздействием на корпус судна (v – скорость кажущегося ветра в м/с, φ – угол кажущегося ветра в радианах, $L1$ и $L2$ – плечи сил, приложенных к центрам парусности ЦП1 и ЦП2 в метрах).

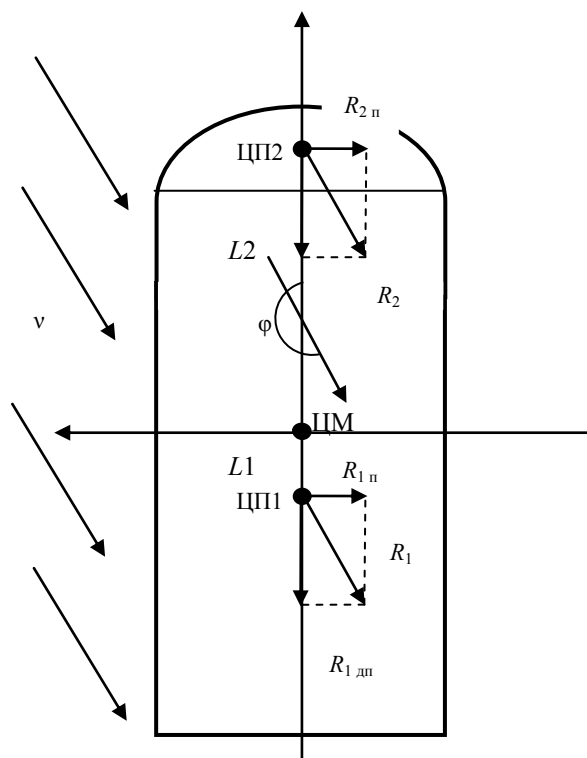


Рис. 2. Силы, действующие на корпус судна в результате ветрового воздействия (для $\varphi = 180^\circ - 270^\circ$)

Сила ветрового воздействия определяется как [7]:

$$R_i = C_i \frac{\rho}{2} v^2 S_i,$$

где C_i – аэродинамический коэффициент сопротивления (зависит, в частности от формы объекта);

ρ – плотность воздуха, кг/м³;

v – скорость ветра, м/с;

S_i – площадь, на которую воздействует ветер, м².

В [8,9] приведены графики значений коэффициента сопротивления для параллелепипеда. В зависимости от геометрии параллелепипеда его значения лежат в пределах 0,8–1,0. Для корпуса теплохода проекта ПКС-180 этот коэффициент примерно равен $C_1 = 1,0$. Для цилиндра, расположенного перпендикулярно к потоку (носовая часть) коэффициент сопротивления можно принять за $C_2 = 0,6$.

Для направления ветра слева в нос (в секторе от 180° до 270° составляющие) силы ветра, действующие на корпус, можно записать:

$$R_{1n} = R_1 \sin \varphi = -C_1 \frac{\rho}{2} S_n \sin \varphi v^2 \sin \varphi;$$

$$R_{1on} = R_1 \cos \varphi = -C_1 \frac{\rho}{2} S_n \sin \varphi v^2 \cos \varphi;$$

$$R_{2n} = R_2 \sin \varphi = C_2 \frac{\rho}{2} r_{\text{ц}} h_y (2\pi - \varphi) v^2 \sin \varphi;$$

$$R_{2on} = R_2 \cos \varphi = C_2 \frac{\rho}{2} r_{\text{ц}} h_y (2\pi - \varphi) v^2 \cos \varphi.$$

Тогда

$$R_n = \sin \varphi (R_{1n} + R_{2n}) = \frac{\rho}{2} v^2 \sin \varphi (-C_1 S_n \sin \varphi + C_2 r_{\text{ц}} h_y (2\pi - \varphi));$$

$$R_{on} = \cos \varphi (R_{1on} + R_{2on}) = \frac{\rho}{2} v^2 \cos \varphi (-C_1 S_n \sin \varphi + C_2 r_{\text{ц}} h_y (2\pi - \varphi)).$$

Момент, разворачивающие судно, можно записать как

$$M_R = M_{R1} - M_{R2} = \frac{\rho}{2} v^2 \sin \varphi (C_1 S_n L_1 \sin \varphi + C_2 r_{\text{ц}} h_y (2\pi - \varphi) L_2).$$

Для направления ветра слева в корму составляющие силы ветра, действующие на корпус, показаны на рис. 3.

Составляющие силы ветра, действующие на корпус, можно записать как

$$R_{1n} = -C_1 \frac{\rho}{2} S_n v^2 \sin^2 \varphi;$$

$$R_{1\text{дп}} = -C_1 \frac{\rho}{2} S_n v^2 \sin \varphi \cos \varphi ;$$

$$R_{2n} = C_2 \frac{\rho}{2} r_{\text{ц}} h_y v^2 (2\pi - \varphi) \sin \varphi;$$

$$R_{2\text{дп}} = C_2 \frac{\rho}{2} r_{\text{ц}} h_y (2\pi - \varphi) v^2 \cos \varphi;$$

$$R_{3n} = C_3 \frac{\rho}{2} S_k v^2 \cos \varphi \sin \varphi;$$

$$R_{3\text{дп}} = C_3 \frac{\rho}{2} S_k v^2 \cos^2 \varphi.$$

Тогда

$$R_n = \sin \varphi (R_{1n} + R_{2n} + R_{3n}) = \frac{\rho}{2} v^2 \sin \varphi (-C_1 S_n \sin \varphi + C_2 r_n h_y (2\pi - \varphi) + C_3 S_k \cos \varphi);$$

$$R_{дн} = \cos \varphi (R_{1дн} + R_{2дн} + R_{3дн}) = \frac{\rho}{2} v^2 \cos \varphi (-C_1 S_n \sin \varphi + C_2 r_n h_y (2\pi - \varphi) + C_3 S_k \cos \varphi).$$

Момент, разворачивающие судно, можно записать как

$$M_R = M_{R1} - M_{R2} + M_{R3} = \frac{\rho}{2} v^2 \sin \varphi (C_1 S_n L_1 \sin \varphi + C_2 r_n h_y (2\pi - \varphi) L_2 - C_3 S_k L_3 \cos \varphi).$$

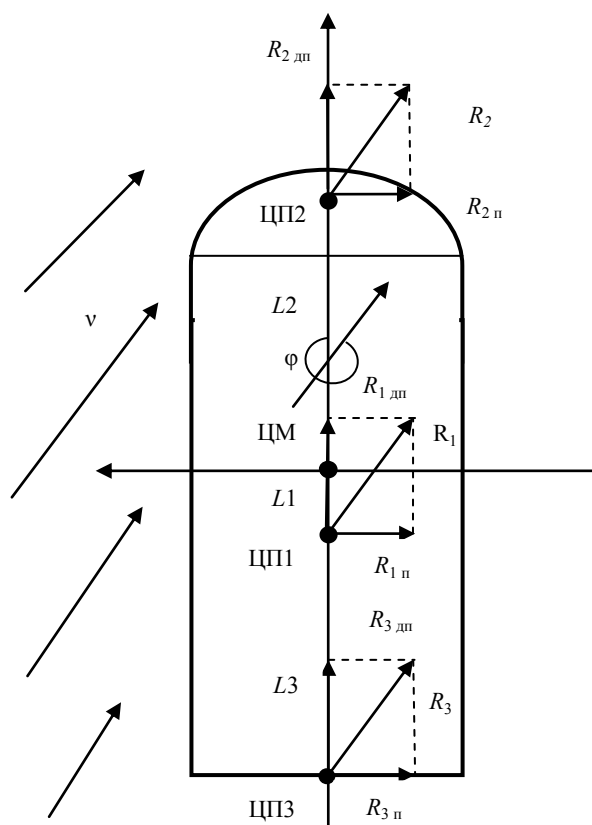


Рис. 3. Силы, действующие на корпус судна в результате ветрового воздействия (для $\varphi = 270^\circ - 360^\circ$)

Аналогично можно найти составляющие силы ветра, действующие на корпус, и в других квадрантах. Для направления ветра в корму справа (от 0° до 90°):

$$R_{1n} = C_1 \frac{\rho}{2} S_n v^2 \sin^2 \varphi;$$

$$R_{1дн} = C_1 \frac{\rho}{2} S_n v^2 \sin \varphi \cos \varphi;$$

$$R_{2n} = C_2 \frac{\rho}{2} r_{\text{ц}} h_y v^2 \sin \varphi;$$

$$R_{2дн} = C_2 \frac{\rho}{2} r_{\text{ц}} h_y v^2 \cos \varphi;$$

$$R_{3n} = C_3 \frac{\rho}{2} S_k v^2 \cos \varphi \sin \varphi;$$

$$R_{3дн} = C_3 \frac{\rho}{2} S_k v^2 \cos^2 \varphi.$$

Тогда

$$R_n = \sin \varphi (R_{1n} + R_{2n} + R_{3n}) = \frac{\rho}{2} v^2 \sin \varphi (C_1 S_n \sin \varphi + C_2 r_{\text{ц}} h_y \varphi + C_3 S_k \cos \varphi);$$

$$R_{дн} = \cos \varphi (R_{1дн} + R_{2дн} + R_{3дн}) = \frac{\rho}{2} v^2 \cos \varphi (C_1 S_n \sin \varphi + C_2 r_{\text{ц}} h_y \varphi + C_3 S_k \cos \varphi).$$

Момент, разворачивающие судно, можно записать как

$$M_R = -M_{R1} + M_{R2} - M_{R3} = \frac{\rho}{2} v^2 \sin \varphi (-C_1 S_n L_1 \sin \varphi + C_2 r_{\text{ц}} h_y \varphi L_2 - C_3 S_k L_3 \cos \varphi).$$

Для направления ветра справа в нос (от 90° до 180°):

$$R_{In} = C_1 \frac{\rho}{2} S_n v^2 \sin^2 \varphi;$$

$$R_{Iдн} = C_1 \frac{\rho}{2} S_n \sin \varphi v^2 \cos \varphi;$$

$$R_{2n} = C_2 \frac{\rho}{2} r_{\text{ц}} h_y \varphi v^2 \sin \varphi;$$

$$R_{2дн} = C_2 \frac{\rho}{2} r_{\text{ц}} h_y \varphi v^2 \cos \varphi.$$

Тогда

$$R_n = \sin \varphi (R_{In} + R_{2n}) = \frac{\rho}{2} v^2 \sin \varphi (C_1 S_n \sin \varphi + C_2 r_{\text{ц}} h_y \varphi);$$

$$R_{дн} = \cos \varphi (R_{Iдн} + R_{2дн}) = \frac{\rho}{2} v^2 \cos \varphi (C_1 S_n \sin \varphi + C_2 r_{\text{ц}} h_y \varphi).$$

Момент, разворачивающий судно:

$$M_R = -M_{R1} + M_{R2} = \frac{\rho}{2} v^2 \sin \varphi (-C_1 S_n L_1 \sin \varphi + C_2 r_{\text{ц}} h_y \varphi L_2).$$

Зависимости поперечной (R_n), продольной ($R_{дн}$) сил и разворачивающего момента (M_R) от направления и скорости ветра показаны на рис. 4.

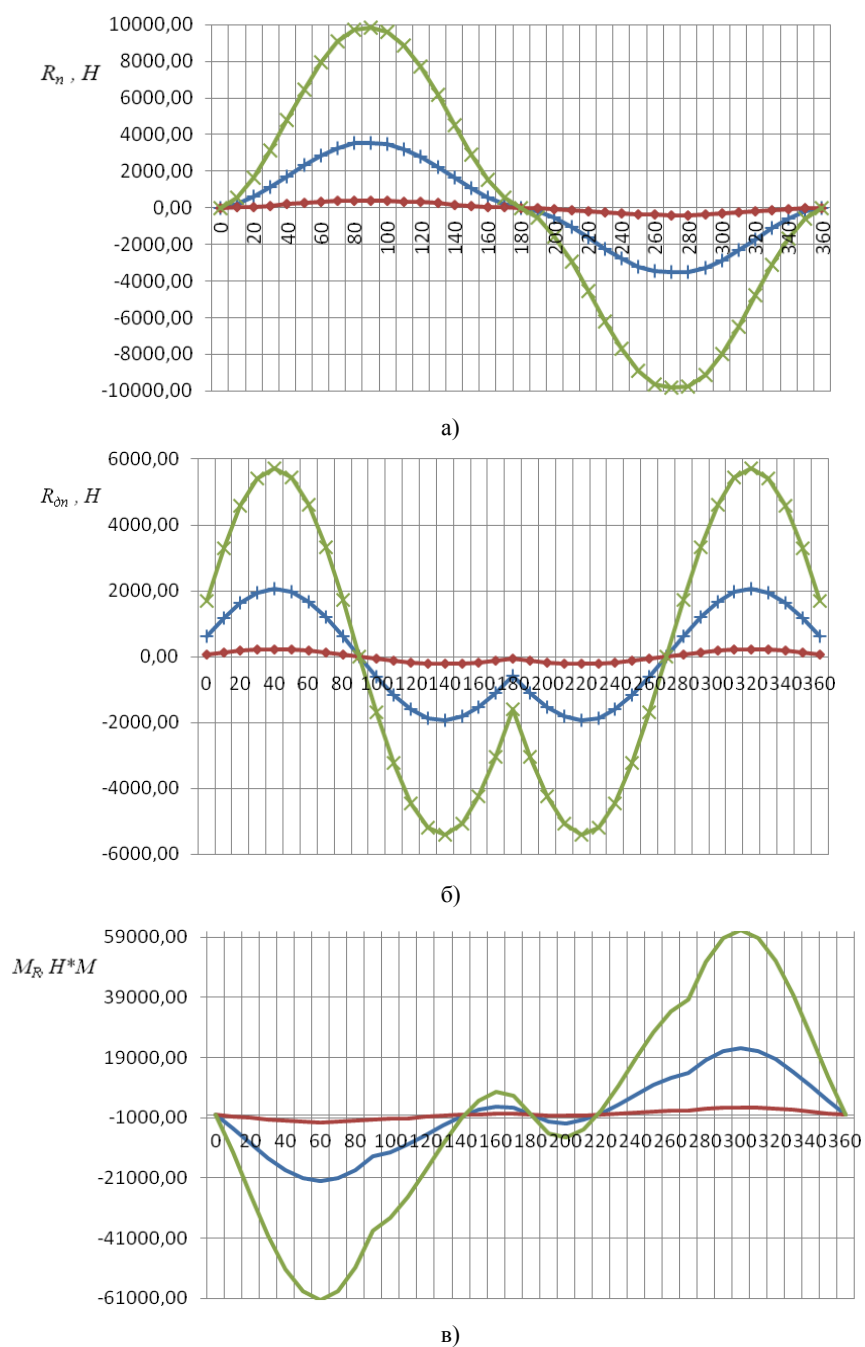
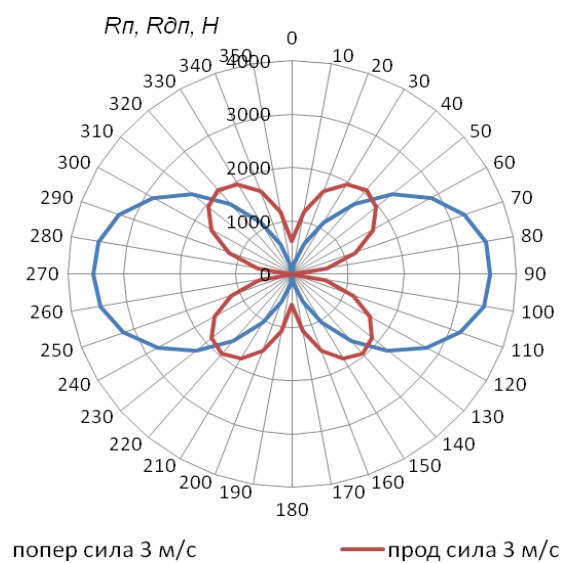
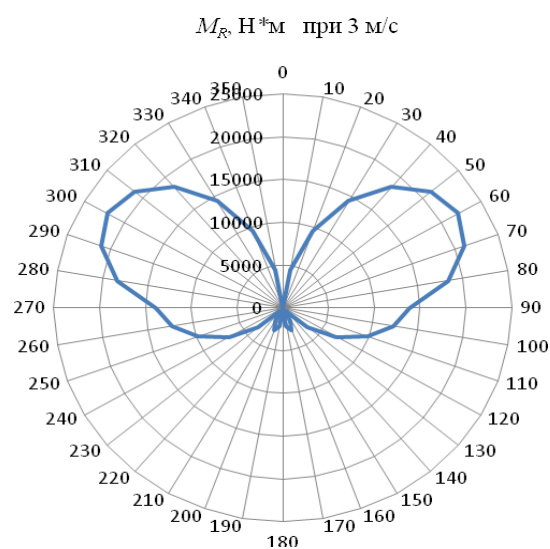


Рис. 4. Зависимости поперечной (а), продольной (б) сил и разворачивающего момента (в) от направления и скорости ветра

Для наглядности эти же зависимости представлены в полярных координатах (рис. 5).



а)



б)

Рис. 5. Зависимости поперечной и продольной (а) сил и разворачивающего момента (б) от направления ветра

Полученные результаты качественно совпадают с данными, приведенными в литературе (например, рисунок 6 из [10]). Естественно, конкретные значения зависят от типа судна и его конфигурации, а именно длины и ширины, высоты борта, надстроек и рубок.

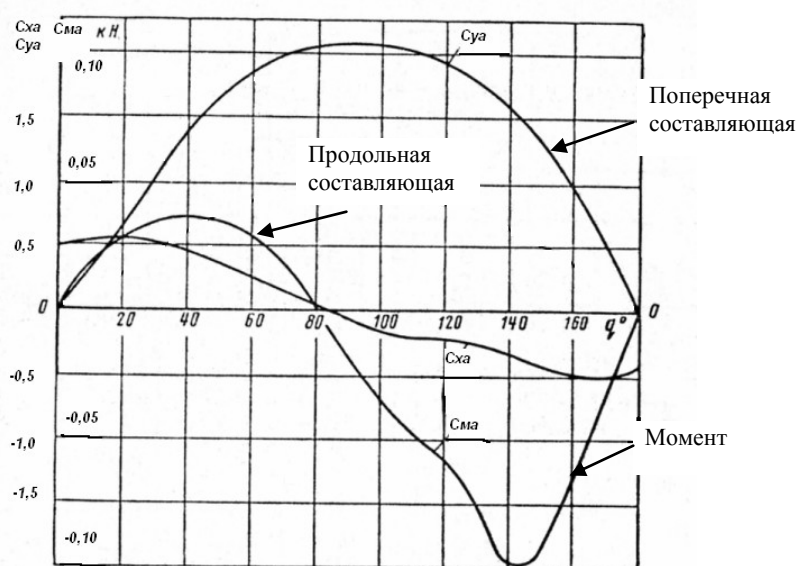


Рис. 6. Поперечная и продольная составляющие аэродинамической силы и их вращающий момент из [10]

При вычислении сил и моментов, действующих на корпус судна, необходимо использовать «кажущийся» ветер [11], вектор скорости которого $\vec{v}$ является суммой векторов скорости судна $\vec{V}$ и скорости истинного ветра $\vec{v}_B$. Угол между векторами скорости судна $\vec{V}$ и скорости истинного ветра $\vec{v}_B$ равен θ (рис. 7).

При определении направления ветра не используются принятые у судоводителей правила («ветер в компас»), поскольку для математического и компьютерного моделирования требуется задание углов в соответствии с математическими законами. Угол направления ветра определяется между осью x (или x') и прямой соответствующей направлению его вектора. Так, например, ветер с углом равным 0, относительно корпуса судна, будет для судна попутным.

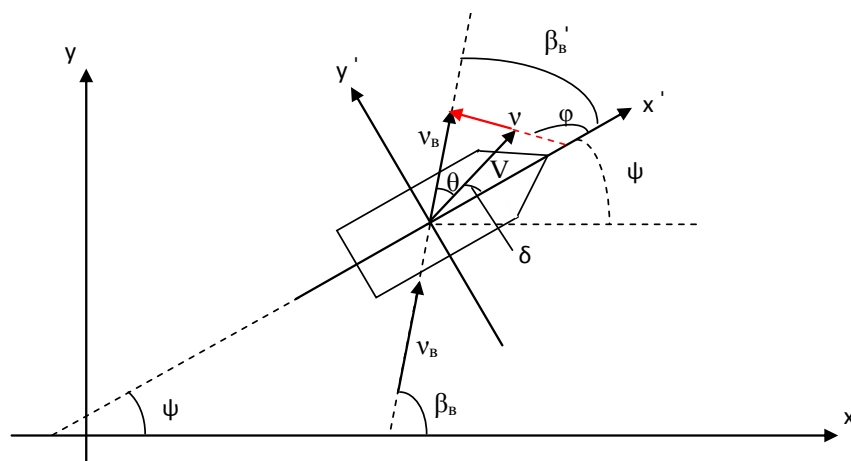


Рис. 7. Определение вектора «кажущегося» ветра

β'_B — направление истинного ветра в системе координат $x'y'$, связанной с корпусом судна:

$$\beta'_B = 2\pi + \beta_B - \psi$$

если $\beta'_B > 2\pi$, то $\beta'_B = \beta'_B - 2\pi$.

θ – угол между векторами истинного ветра β'_B и направлением перемещения судна δ в системе координат $x'y'$:

$$\theta = \begin{cases} |\beta'_B - \delta| & \text{при } |\beta'_B - \delta| < \pi \\ 2\pi - |\beta'_B - \delta| & \text{при } |\beta'_B - \delta| > \pi \end{cases}$$

Скорость «кажущегося» ветра можно определить как

$$v = \sqrt{v_B^2 + V^2 - 2v_B V \cos \theta}$$

Для определения угла «кажущегося» ветра в системе координат $x'y'$ рассмотрим 2 ситуации:

1) Угол реального ветра в системе координат $x'y'$ находится в диапазоне $0 \leq \beta'_B < \pi$. Выбор знака при вычислении угла кажущегося ветра в системе координат $x'y'$ поясняется на рисунке 8а.

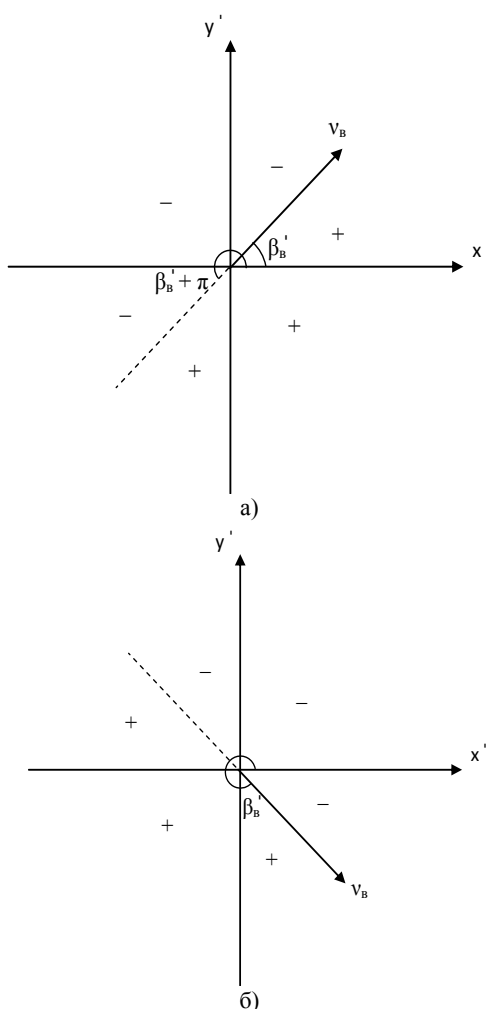


Рис. 8. Определение знака при вычислении угла кажущегося ветра φ

Таким образом, угол между направлением «кажущегося» ветра и ДП судна равен:

$$\varphi = \begin{cases} \beta'_B + \arccos\left(\frac{v^2 + v_B^2 - V^2}{2 * v * v_B}\right) & \text{при } \beta'_B + \pi \leq \delta \leq 2\pi \\ & \text{или } 0 \leq \delta \leq \beta'_B; \\ \beta'_B - \arccos\left(\frac{v^2 + v_B^2 - V^2}{2 * v * v_B}\right) & \text{при } \beta'_B \leq \delta \leq \beta'_B + \pi. \end{cases}$$

2) Угол реального ветра в системе координат $x'y'$ находится в диапазоне $\pi \leq \beta'_B < 2\pi$. Выбор знака при вычислении угла кажущегося ветра в системе координат $x'y'$ поясняется на рисунке 8б.

Таким образом, угол между направлением «кажущегося» ветра и ДП судна равен

$$\varphi = \begin{cases} \beta'_B + \arccos\left(\frac{v^2 + v_B^2 - V^2}{2 * v * v_B}\right) & \text{при } \beta'_B - \pi \leq \delta \leq \beta'_B; \\ \beta'_B - \arccos\left(\frac{v^2 + v_B^2 - V^2}{2 * v * v_B}\right) & \text{при } \beta'_B \leq \delta \leq 2\pi \\ & \text{или } 0 \leq \delta \leq \beta'_B - \pi. \end{cases}$$

Проведенные расчеты показывают, что для нового судна «Золотое кольцо» (обладающего малой осадкой и большой парусностью), аэродинамические силы будут иметь весьма существенное значение и влиять на его динамические характеристики. При ветре уже в 5 м/с поперечная составляющая аэродинамической силы достигает 1000 кГ, а поворачивающий момент величины в 61000 н*м. Это может значительно затруднить маневрирование судна, особенно на малых скоростях (например, при выполнении швартовых операций). Полученные результаты будут использованы при моделировании динамических характеристик нового судна и разработки алгоритмов управления.

Список литературы:

- [1] Российский патент № 2225327 от 30.11.2001.
- [2] Галкин Д.Н. и др. Уникальный туристический теплоход, или как развивать отрасль в современных условиях. // Речной транспорт (XXI век). 2016. – № 2(78). – с. 21-23.
- [3] Галкин Д.А., Малый Ю.А. От «Суры» к «Золотому кольцу». // Речной транспорт (XXI век). 2015. – №2(73). – с. 32-33.
- [4] Szlangiewicz T., Wiśniewski B., Zelazny K. The influence of wind, wave and loading condition on total resistance and speed of the vessel. polish maritime research 3(83) 2014 Vol. 21; pp. 61-67.
- [5] Fossen T.I., Perez T. Ship Motion Control and Models // One-day Tutorial, CAMS'07, Bol, Croatia, 2007. – 27 с.
- [6] Andersen I. M. V. Wind Forces on Container Ships Fluid Mechanics, Coastal and Maritime Engineering, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark, Nils Koppels Allé, 2800, Kgs. Lyngby, Denmark – 12 с.
- [7] Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособ. – 4-е изд., испр. – М.: Academia, 2003. – 720 с.
- [8] Барт Р. Влияние бокового ветра на аэродинамические силы, действующие на модели автомобилей и подобные им тела// Аэродинамика автомобилей. М.: Машиностроение. 1984 г.
- [9] Nakayama Y., Boucher R.F. Introduction to Fluid Mechanics. – Elsevier, 2000. – 312 с.
- [10] Антонов В.А., Письменный М.Н. Теоретические вопросы управления судном. Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. МГУ им. Адм. Г.И. Невельского, 2007. – 78 с.
- [11] Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. – 3-е изд., перераб. и доп.- Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.

THE CALCULATION OF WIND FORCE IMPACT ON THE SHIP HULL WITH WHEEL PROPULSION STEERING UNIT «GOLDEN RING»

V.Y. Bychkov, L.S. Grosheva, V.I. Pluyshchaev

Key words: ship, wheel-propulsion steering complex, wind impact

The article represents the calculation of wind force impact on the ship hull with wheel propulsion steering unit «Golden Ring».

Статья поступила в редакцию 18.04.2018 г.

УДК 629.563.21: 001.891.54

Е.М. Грамузов, д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

О.А. Иванова, инженер-конструктор АО «ЦКБ» Коралл»
299028, г. Севастополь, ул. Репина, 1

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛАВУЧИХ ОБЪЕКТОВ И ПАРАМЕТРОВ ИХ СТАБИЛИЗАЦИИ В ОПЫТОВОМ БАССЕЙНЕ

Ключевые слова: бассейн, амплитуда колебаний, волнограф, число Фруда, модель, платформы, экспериментальные исследования

В статье приведены результаты и анализ экспериментальных исследований пространственных колебаний плавучих объектов и параметров их стабилизации в опытном бассейне. Разработана схема выполнения измерений параметров пространственных колебаний для плавучих объектов на физических моделях буровых платформ. Определены характеристики угловых и поступательных колебаний физических моделей при использовании разработанного комплекса цифрового оборудования, параметры их стабилизации в зависимости от конфигурации платформ.

Постановка задачи

Добыча природных энергетических ресурсов является одной из основных отраслей топливно-энергетического комплекса России, в которой старана занимает ведущее место в мировой системе оборота энергоресурсов, активно участвует в торговле на мировом рынке углеводородов. В настоящее время разведано значительное число нефтяных и газовых месторождений в глубоководных районах Мирового океана [1–5]. Их освоение требует создания соответствующих технических средств. В центральных районах Черного моря имеются огромные запасы углеводородов. Первоочередные задачи для освоения энергетических ресурсов в бассейне Черного моря включают комплексные исследования в лабораторно-стендовых и реальных (морских) условиях, для возможности добычи их с применением экологически чистых технологий без нарушения биосферы моря, с учетом глубин порядка 2 км и экстремальных ветроволновых условий возможных в центральных районах Черного моря. Решение этой проблемы предусматривает детальные исследования гидродинамики платформ для глубоководного бурения, определение условий их стабильности с относительными поступательными колебаниями в пределах 1...2 % от глубины места разработки, оптимизацию конструкций таких установок, создание численных моделей их динамики для определения возможных экстремальных нагрузок на элементы конструкций. Экспериментальные исследования на основании лабораторного моделирования – один из необходимых этапов создания таких средств.

Анализ проблемы исследования

При разработке установок для освоения морских энергетических ресурсов (буровые платформы различных типов, терминалы, подводные трубопроводы, и другие сооружения) испытания в опытовых бассейнах необходимы для решения многих прикладных проблем. Современные методы конструирования океанотехнических установок основаны на общих рекомендациях Морского регистра судоходства и различных СНИПах [6–8]. К их числу относятся оценки воздействия экстремальных морских волн на терминалы, установленные в фиксированных точках [9], определение волновых нагрузок на подводные трубопроводы в прибрежной зоне моря [10], изучение пространственных колебаний плавучих установок и эффективности стабилизации вертикальных смещений при различной конструкции полупогружных платформ [11–13]. При расчетах гидродинамических характеристик буровых платформ для глубоководной зоны Черного моря необходимо учитывать климатические и гидрометеорологические условия, в том числе возможность штормового ветра, скорость которого достигает 30 м/с, с высотами волн до 13...14 м (при обеспеченности 1 %). Продолжительность таких экстремальных штормовых условий может достигать 17...20 ч.

Кроме поверхностных волн на глубоководные платформы оказывают воздействие квазистационарные течения. Измерения профилей скорости таких течений при условиях, когда направление ветра со скоростью до 20 м/с совпадало с направлением основного черноморского течения, показали, что скорость течения может достигать 1,5 м/с в слое от морской поверхности до глубины примерно 50 м с последующим уменьшением до 0,1 м/с на глубинах 300...350 м [10, 14–16].

Перечисленные проблемы, естественно, не исчерпывают все области проведения исследований в опытовых бассейнах. С усложнением решаемых задач возрастают требования к характеристикам измерительной аппаратуры в части увеличения ее чувствительности, точности, быстродействия, возможности автоматизированной обработки данных измерений. Наиболее эффективным методом решения указанных задач является использование современной микроэлектроники и программного обеспечения для обработки и интерпретации результатов измерений. Один из возможных подходов в создании такой аппаратуры для обеспечения исследований в опытовых бассейнах был реализован авторами статьи.

Экспериментальные исследования пространственных колебаний морских судов и сооружений могут преследовать как научные, так и практические цели. Задачами научных экспериментов являются: определение величин, входящих в дифференциальные уравнения качки, которые могут быть установлены лишь опытным путем (коэффициентов присоединенных масс воды, сопротивления и т.п.); проверка правильности новых гипотез, положений и отдельных выводов учения о качке, устанавливаемых теоретическим путем; исследование влияния элементов судна или плавучего сооружения на характеристики его качки; получение данных о поведении судна или плавучего сооружения в различных условиях волнения – подверженность качке, амплитуды и ее периоды, заливание палубы водой и т. п.; исследование действия различных устройств успокоения качки; определение характеристик качки и мореходности проектируемых сооружений путем испытания их моделей.

В зависимости от цели экспериментальное исследование может производиться как на реальном судне или морском сооружении, так и на его модели в опытовом бассейне. Преимущество наблюдения за качкой реального судна или морского сооружения представляется в том, что при этом устанавливается фактическая картина поведения исследуемого объекта при данных условиях его нагрузки и состоянии погоды. Однако такое наблюдение не всегда возможно ввиду отсутствия подходящей погоды. При проведении натурных экспериментов по исследованию пространственных колебаний морских судов и сооружений весьма трудно обеспечить нужное для наблюдений состояние исследуемого объекта и в случае неудачного наблюдения не всегда удается его повторить из-за изменения погодных условий.

Все эти неудобства не имеют места при модельных экспериментах, поэтому они получили широкое применение при изучении вопросов пространственных колебаний различных типов судов и морских сооружений. Испытания качки динамически и геометрически подобных моделей могут проводиться при произвольных состояниях нагрузки и заранее назначенных элементах волнения. Экспериментаторы могут легко изменять отдельные элементы моделей, возможно требуемое количество повторений произведенных экспериментов. Однако законы моделирования связывают эксплуатационные свойства опытного образца по отношению к масштабированной модели в установленном порядке. В моделировании устройство опытного образца рассматривается, как правило, в мелком масштабе. Особое внимание необходимо уделять тому, что модель должна точно воспроизводить эксплуатационные свойства опытного образца: форму конструкции, поток жидкости и их взаимосвязь. Для того, чтобы модель действительно представляла полномасштабную структуру, должны соблюдаться условия геометрического, кинематического и динамического подобия. Только тогда данные тестовой модели могут быть масштабированы без каких-либо искажений. Модельный испытательный комплекс для морских сооружений должен включать в себя проектирование модели, контрольно-измерительную аппаратуру, моделирование окружающей среды и программное обеспечение для записи и анализа данных. Таким образом, экспериментальные исследования ведут к большим затратам труда и времени. Поэтому их, по-возможности, заменяют численными экспериментами. В настоящее время многие работы посвящены разработке методов моделирования динамического взаимодействия морских сооружений с условиями и средой их эксплуатации, исследованию волновой устойчивости от перемещения плавучего объекта в морской среде [17–19].

В существующих в настоящее время волновых бассейнах установлены различные типы систем для измерения характеристик волновых процессов [20]. В Санкт-Петербурге используется несколько больших волновых бассейнов длиной 100 и более метров. В качестве волнографов для определения параметров волновых возмущений здесь используют приборы электролитического типа, обеспечивающие точность измерения с относительной погрешностью не более 2...3 % [21, 22]. Многочисленные разновидности волновых бассейнов имеются в США. Так в университете Нью-Йорка используется волновой бассейн длиной 11 м, шириной 2 м и глубиной 0,9 м, оснащенный компьютерной системой генерации волн с заданными параметрами, где для измерения волновых характеристик применяют оптический волнограф на основе доплеровского эффекта. В приборах такого типа нет непосредственного контакта датчика с водной средой и связанных с этим дополнительных возмущений. К недостаткам относятся высокая стоимость, сильное влияние мутности водной среды на показания. Также известны следующие волнометрические приборы: емкостные, поплавковые, гидростатические, струнные и другие. Эти приборы предназначены для использования в различных условиях и имеют различные метрологические характеристики. Как правило, из-за ограничения длины опытовых бассейнов в них формируется сложная система прямых и отраженных волн, которые необходимо разделить для правильной интерпретации результатов исследований [23].

Решение поставленной задачи

Независимо от задач и методов экспериментального исследования пространственных колебаний морских судов и сооружений, задача, прежде всего, сводится к фиксации движения исследуемой модели при качке или отдельных элементов этого движения – амплитуд, периодов, ускорений и т. п. Для возможности такой фиксации необходимо располагать специальной измерительной аппаратурой, позволяющей произвести необходимые измерения. Вопросы исследования пространственных колебаний подвижных объектов, влиянию формы судна на параметры генерированных волн освещены в работах [18, 24, 25].

Для проведения экспериментальных исследований был разработан комплекс цифрового оборудования для измерения параметров пространственных колебаний подвижных океанотехнических установок, определения характеристик их угловых и поступательных движений. Примерами таких подвижных объектов являются физические модели судов, глубоководных аппаратов, плавучих платформ и терминалов и другие объекты со сложным характером движения. Указанный комплекс измерительной аппаратуры создан для условий опытового бассейна, в котором проводились эксперименты на базе кафедры «Океанотехника и кораблестроение» Севастопольского государственного университета совместно с Морским гидрофизическим институтом в Севастополе. Для определения пространственно-временных характеристик волновых возмущений в бассейне в состав комплекса входит два волнографа, размещенные вдоль оси волнового бассейна на заданном расстоянии между ними и автономный измеритель пространственных колебаний (ИПК) исследуемой физической модели плавучего объекта.

В качестве волнографов применены гидродинамические приборы, выходной сигнал которых пропорционален разности атмосферного давления и давления жидкости на фиксированной глубине. Это относительно простые в конструктивном отношении приборы обладают высокой чувствительностью и могут использоваться в качестве измерителей параметров волн. В качестве чувствительных элементов волнографов использовались дифференциальные датчики давления фирмы «Motorola» типа MPX2010DP с динамическим диапазоном 10 кПа и чувствительностью 2,5 мВ/кПа. Прямые входы этих датчиков присоединены к жестким измерительным трубкам длиной 1 м. Выходы датчиков подключены к коммутатору аналого-цифрового преобразователя через операционные усилители типа INA-116P и далее к порту персонального компьютера – через формирователь RS 232. Дифференциальный вход датчика воспринимает атмосферное давление, прямые входы датчиков подсоединены к измерительным трубкам, концы которых опускаются на заданную глубину и воспринимают гидростатическое и волновое давление воды. Волнографы такого типа созданы в Морском гидрофизическом институте д.т.н. Грековым Н.А. При экспериментах используются два одинаковых измерителя, установленные вдоль направления распространения волны на фиксированном расстоянии. Фазовый сдвиг между показаниями этих датчиков позволяет определить длину кажущейся волны и параметры прямой и отраженной волн. Изменение глубины погружения дифференциальных датчиков давления при фиксированном режиме работы волнопродуктора обеспечивает измерение волнового давления на различных глубинах, что позволяет идентифицировать тип волновых возмущений.

При выполнении исследований была выбрана конфигурация глубоководной платформы типа TLP и SPAR. Характерный размер диаметра основной части платформ SPAR обычно составляет 30...40 м, размеры платформ типа TLP находятся в пределах 100...150 м. Численные расчеты выполнены при характеристиках поверхностных волн и течений во время экстремального шторма 10–11 ноября 2007 г. [15]. В соответствии с этими данными высота волны 3 % обеспеченности достигала 10 м, ее период равен 9 секунд, а длина – 100 м. При рассмотренных условиях числа Фруда находятся в диапазоне 0,0171...0,0209. Приравнявая эти величины к числам Фруда

для опытового бассейна, находим: $0,0171 = \frac{0,039}{\sqrt{gL}}$, $L = 0,36$ м; $0,0209 = \frac{0,039}{\sqrt{gL}}$,

$L = 0,53$ м. Таким образом, размер физической модели типа TLP должен быть в пределах от 0,36 до 0,53 м. Для тех же условий определен характерный размер диаметра основной части модели платформы типа SPAR, который должен быть равен 0,1 м. Другие размерения моделей глубоководных платформ определяются из условий геометрического подобия [26]. Исследование динамики колебаний платформы под действием штормовых поверхностных волн, позволяет определить характер зависимости

амплитуды вертикальных и угловых колебаний платформы при различном заглублении стабилизирующих колонн (рациональную осадку платформы при воздействии экстремальных поверхностных волн).

В состав комплекса цифрового оборудования для измерения пространственных характеристик плавучих объектов входят: опытовый бассейн с волнопродуктором, волногасителем, волнографами, испытываемая модель (в данном случае модель глубоководной платформы типа TLP, SPAR); на модель установлен блок, включающий трехкомпонентный акселерометр и гироскоп, оси которых совпадают с продольной, поперечной и условно вертикальной осями модели [27]. Два волнографа оснащены высокочувствительными датчиками, измеряющих перепады давления между глубиной установки приемного отверстия первого H_1 и второго H_2 волнографов и атмосферным давлением. Измерительные преобразователи датчиков и интерфейс для связи с компьютером находятся в отдельном устройстве, которое подключено к первому входу компьютера, а к его второму входу подключено устройство управления трехкомпонентным акселерометром и гироскопом. Конструктивно это устройство объединено в одном блоке. Цифровой измеритель пространственных колебаний подвижных объектов, включающий в себя блок с трехкомпонентным акселерометром и гироскопом, показан на рис. 1.

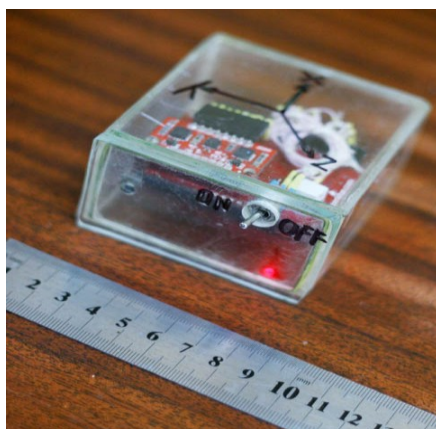


Рис. 1. Цифровой измеритель пространственных колебаний подвижных объектов

В состав комплекса введен также физический маятник с возможностью последовательной установки на нем блока 3-х компонентных акселерометров и гироскопов таким образом, чтобы каждая из осей блока совпадала с плоскостью движения маятника. Это позволяет проводить регулярные поверки и метрологическую верификацию указанных измерителей, так как параметры движения маятника хорошо известны и могут использоваться для регулярных поверок и, при необходимости, корректировки градуировок измерительных каналов акселерометров и гироскопов. Описание работы комплекса измерительной аппаратуры и его состав изложены в [26].

Для исследований волновой динамики платформ необходимо определить собственные периоды их колебаний. Эти параметры были определены путем регистрации свободных колебаний модели платформы на спокойной воде. Отдельно определялись периоды собственных колебаний по крену и по вертикали. Для этой цели использовались показания акселерометров, оси которых совпадали с продольной осью платформы (Ox) и с условно вертикальной осью (Oy).

Соответствующие нормированные спектры представлены на рис. 2 и рис. 3. Максимумы спектров соответствуют периодам колебаний физической модели платформы

TLP, равным 1,2 с, при этом периоды для угловых и вертикальных колебаний модели платформы совпадают.

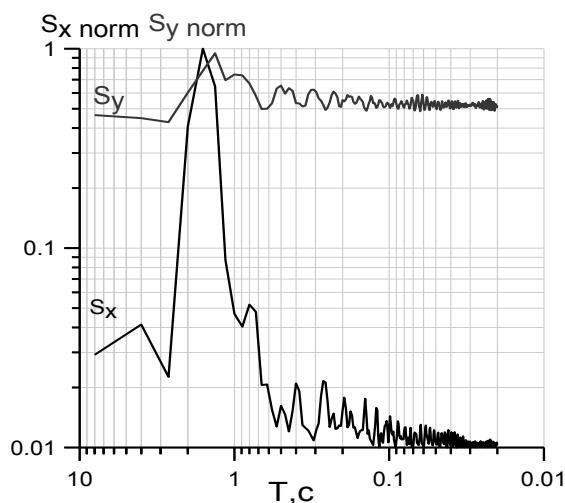


Рис. 2. Спектры собственных колебаний платформы по крену

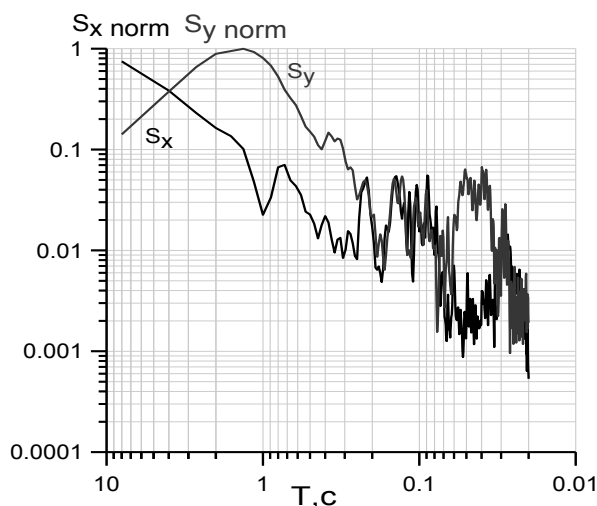


Рис. 3. Спектры собственных вертикальных колебаний платформы

Параметры горизонтальных и вертикальных колебаний физических моделей глубоководных платформ типа SPAR и TLP были исследованы при различных режимах работы волнопродуктора и при различном положении платформы типа TLP относительно распространяющихся в опытовом бассейне волновых возмущений. Ниже на рис. 4 и 5 представлены спектры горизонтальных и вертикальных ускорений модели TLP при заглублениях 346, 326, 306 и 286 мм. В пересчете на натурные размеры платформы эти осадки равны 86, 81, 76 и 71 м. Измерения проводились при режиме волнопродуктора 90 %; при этом, период волновых возмущений – 0,61 с, длина волны – 0,58 м, высота волны – 2 см. Продольная ось платформы совпадает с основным направлением распространения волн. Платформа удерживалась на точке при помощи четырех якорей.

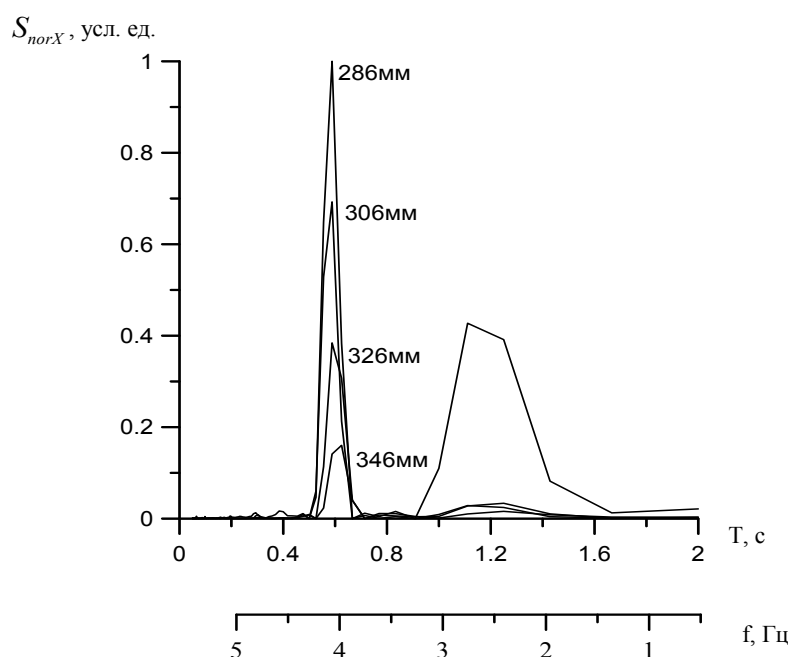


Рис. 4. Спектры горизонтальных ускорений модели TLP при различной осадке

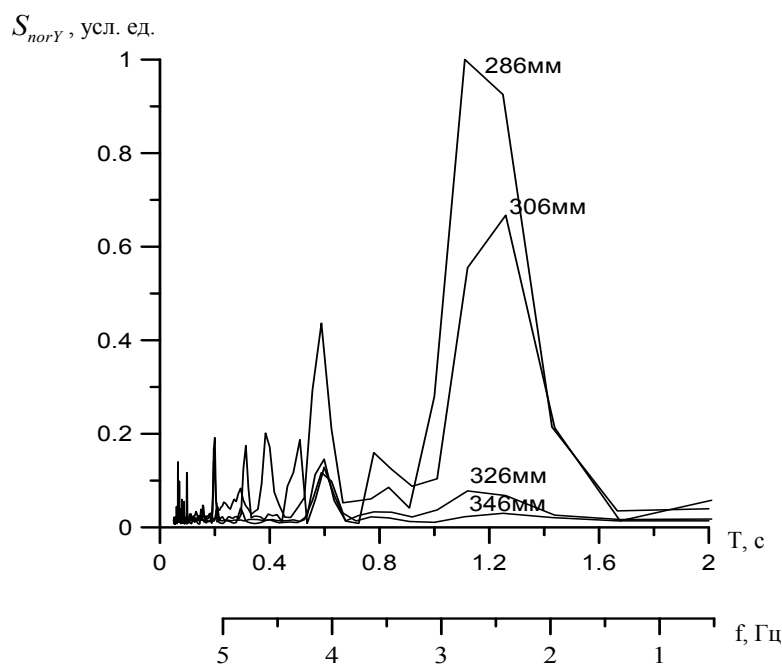


Рис. 5. Спектры вертикальных ускорений модели TLP при различной осадке

На спектрах горизонтальных ускорений отчетливо проявился эффект уменьшения пика спектра на основной частоте колебаний (0,6 с) при увеличении осадки платформы. Значительно меньшие по величине ускорения на удвоенном периоде обусловлены, вероятно, нелинейностью гидродинамической системы платформы – водная среда с учетом массы модели и присоединенной массы воды. Спектры этих низкочастотных колебаний значительно меньше спектров ускорений на основной частоте (за исклю-

чением осадки 71 м). Но даже и при этой осадке амплитуда горизонтальных смещений этих низкочастотных колебаний будет меньше в четыре раза аналогичной величины на периоде 0,6 с, т.е. будет составлять примерно 10 % от максимальных горизонтальных смещений на основном периоде колебаний.

На спектрах вертикальных колебаний эффект уменьшения ускорений при увеличении осадки платформы проявился главным образом на периоде 1,2 с. На основном периоде возмущений этот эффект также проявляется достаточно отчетливо. Кроме этого, заметно проявились колебания на комбинационных частотах с удвоенной, утроенной и более высокими частотами относительно основной частоты волновых возмущений.

Физическая модель платформы SPAR была объектом исследований эффекта стабилизации колебаний при различной осадке и при различных режимах работы волнопродуктора. Методика исследований не отличалась от аналогичных исследований платформы TLP, основные результаты которых изложены выше. Платформа удерживалась в точке при помощи четырех якорей, крепление которых находилось в верхней части цилиндрической конструкции. Аналогичные исследования были выполнены при системе удержания платформы из восьми якорей.

Выполнен спектральный анализ результатов экспериментальных исследований, получена зависимость изменения амплитуды горизонтальных и вертикальных колебаний платформ от величины осадки и изменения числа якорей для модели типа SPAR.

Полученные данные показали, что эффект стабилизации колебаний платформы при увеличении осадки проявляется достаточно отчетливо. Этот эффект проявляется для платформы типа TLP при увеличении длины волны и ее периода, хотя в этом случае амплитуда горизонтальных и вертикальных колебаний увеличиваются. Для платформы типа SPAR эффект стабилизации колебаний проявляется при изменении числа якорей, удерживающих модель в точке. При этом изменение количества якорей существенно влияет на амплитуды горизонтальных и вертикальных колебаний модели платформы.

Результаты лабораторных исследований пространственных колебаний моделей глубоководных платформ использованы для расчетов параметров возможных поступательных и вертикальных колебаний реальных глубоководных платформ, находящихся под воздействием штормовых волн. С этой целью полученные в ходе лабораторных исследований данные приведены к форме безразмерных характеристик вида $V_i / V_0 = f(\text{Fr}, d_j)$, где V_i – амплитуда скорости поступательного или вертикального колебания платформы, $V_0 = \pi H_w / T_w$ – амплитуда волновой скорости на морской поверхности, м/с (H_w – высота волны 3 % обеспеченности, м, T_w – период волны, с), Fr – число Фруда, d_j – осадка платформы. Из соображений подобия принято, что эти безразмерные характеристики одинаковы для условий опытового бассейна и натуральных условий, для которых параметры поверхностных волн вычисляются по следующим соотношениям [28]:

$$H_w = 2,12 \cdot 10^{-2} W^2, \quad T_w = 0,52 W, \quad (1)$$

где W – скорость ветра, м/с.

Длина волны λ , определяется по дисперсионному соотношению для «глубокой воды», т.е. $h \gg \lambda$:

$$\left(\frac{2\pi}{T_w}\right)^2 = g\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right), \quad (2)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

При расчетах чисел Фруда для натуральных условий использовалась скорость волнового движения, осредненная по половине длины волны $h_p = 0,5\lambda$, по соотношению

$$U_c = \frac{U_0}{h_p} \int_0^{h_p} \exp(-kz) dz = \frac{U_0}{kh_p} [1 - \exp(-kh_p)] \quad (3)$$

На рис. 6 приведена зависимость относительной амплитуды вертикальных колебаний платформы SPAR от чисел Фруда для четырех якорей (сплошная линия) и для восьми якорей системы удержания (прерывистая линия). Эта зависимость построена по данным модельных исследований макета платформы в волновом бассейне.

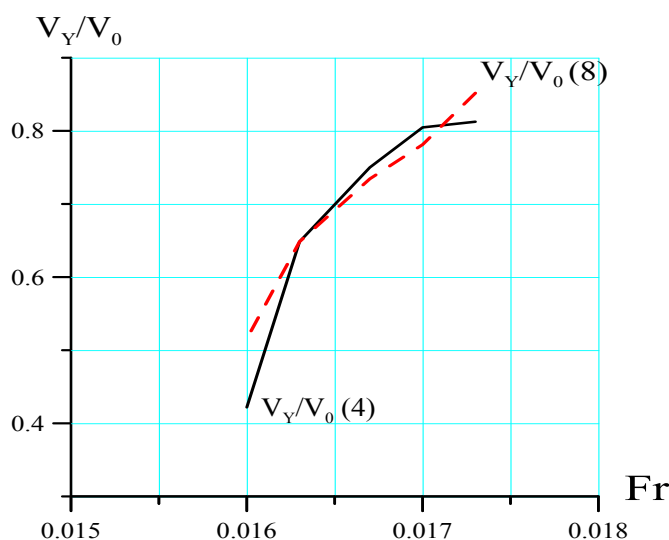


Рис. 6. Зависимость $V_y/V_0 = f(Fr)$ для платформы типа SPAR

Для пересчета указанных безразмерных зависимостей для натуральных условий, вычисляются числа Фруда для диапазона скорости ветра от 10 до 30 м/с. Для заданной скорости ветра определяются параметры поверхностных волн, т.е. величины H_w, T_w, λ . Средняя волновая скорость V_c вычисляется по соотношению (3).

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры штормовых волн при различной скорости ветра

Скорость ветра, W , м/с	Высота волны 3% обеспеченности, H , м	Длина волны, λ , м	Период волны, T_w , с	Средняя волновая скорость, V_c , м/с
10	2,12	42,24	5,2	0,39
15	4,77	95,00	7,8	0,59
20	8,48	168,96	10,4	0,78
25	13,25	264,00	13,0	1,00
30	19,08	380,15	15,6	1,17

Так как размер SPAR платформы известен, то:

$$Fr_y = \frac{V_c}{\sqrt{gd}}; Fr_x = \frac{V_c}{\sqrt{gD}}, \quad (4)$$

где d – осадка, м;

D – диаметр, м.

В указанном диапазоне скоростей ветра, число Фруда для модельных исследований и натурных условий совпадает для скорости ветра, равной 17,04 м/с и равно 0,016. Это соответствует величинам $V_y/V_0 = 0,42$ для четырех якорей и $V_y/V_0 = 0,53$ для восьми якорей. Так как при указанной скорости ветра $V_0 = 2,18$ м/с, то амплитуда вертикальной скорости $V_y = 0,92$ м/с для четырех якорей и 1,16 м/с для восьми якорей. В пересчете на вертикальные смещения $A_y = V_y T_w / 2\pi$, амплитуды колебаний равны соответственно 1,3 и 1,64 м при высоте волны 6,6 м.

При пересчете результатов поступательных колебаний моделей на реальные условия амплитуда V_x горизонтальной скорости колебаний платформы равна:

$$V_x = \frac{V_{xmod} \cdot V_{0w}}{V_{0mod}}, \quad (5)$$

где V_{xmod} – амплитуда горизонтальной скорости колебаний модели, м/с;

V_{0xw} – амплитуда горизонтальной волновой скорости на поверхности моря, м/с;

V_{0mod} – амплитуда горизонтальной волновой скорости на поверхности опытового бассейна, м/с.

Горизонтальные смещения, амплитуда колебаний A_x платформы для натурных условий определяется по формуле:

$$A_x = V_x T_w / 2\pi, \quad (6)$$

По результатам расчетов получены зависимости горизонтальных смещений платформы типа SPAR от осадки $A_x = f(d)$ для четырех и восьми якорей.

Методика расчетов не отличалась от аналогичных исследований для платформы TLP. Платформа удерживалась в точке при помощи четырех якорей. В результате исследований получена зависимость относительной скорости вертикальных колебаний платформы типа TLP от числа Fr . Число Фруда для платформы типа TLP определялось, аналогично платформе SPAR при вертикальных колебаниях. Для поступательных колебаний платформы необходимо учитывать длину понтонов L :

$$Fr_x = \frac{V_c}{\sqrt{gL}}, \quad (7)$$

Соотношение $V_y/V_0 = 0,152$ для платформы TLP соответствует числу Фруда 0,0231. Таким образом, амплитуда вертикальной скорости $V_y = 0,33$ м/с. В пересчете на вертикальные смещения, амплитуда колебаний $A_y = 0,47$ м. Получены зави-

симости амплитуды скорости горизонтальных колебаний модели TLP от осадки для натурной платформы.

Получена оценка вертикальных колебаний платформ типа SPAR равная в среднем 1,5 м при воздействии на платформу штормовых волн высотой 6,6 м при условии подобию чисел Фруда для натуральных условий и лабораторных экспериментов. Таким образом, относительное уменьшение вертикальных колебаний составляет 4,2 раза.

Для платформ типа TLP вертикальные колебания составляют 0,47 м при высоте волны 6,6 м. Таким образом, относительное уменьшение вертикальных колебаний составляет 8,9 раз при максимальной осадке платформы, равной 86 м.

Впервые получены результаты пересчета данных экспериментальных модельных исследований на натурные условия. Они показали, что при изменении осадки опорных конструкций от 180 до 210 м для платформы типа SPAR и от 71 до 86 м для платформы типа TLP и при высотах волн до 6,6 м, обеспечивается относительное уменьшение амплитуды горизонтальных колебаний в 1,6 раза для рассматриваемых типов платформ.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Экспериментальные исследования и анализ полученных результатов выполнены с учетом того, что в противоположной от волнопродуктора части бассейна не происходит полное погашение волновых возмущений и наряду с основной волной в бассейне многократно распространяется отраженная волна, энергия которой составляет некоторую часть энергии основной волны. Суперпозиция прямых и отраженных волн формирует сложную картину, которая наблюдается. Для этой цели используются предложенный метод экспериментальных исследований, который включает измерение волновых возмущений на основе перепада давления между двумя волнографами с разносом их на фиксированное расстояние и фиксации приемной части датчиков на различной глубине, а также спектральный анализ полученных записей и расчеты вертикального распределения по глубине амплитуд волновых возмущений. При этом общая тенденция уменьшения амплитуды давления с увеличением глубины соответствует потенциальной теории поверхностных волн [27].

Выполнены комплексные исследования в лабораторно-стендовых условиях физических моделей буровых платформ с целью верификации созданных моделей и исследований параметров стабилизации в зависимости от конфигурации платформы и заглубления (осадки) ее несущих конструкций.

Спектральная обработка и анализ приведенных данных экспериментальных исследований, позволяют определить зависимости амплитуд вертикальных и горизонтальных колебаний платформ при различном заглублении стабилизирующих колонн, т.е. позволяют определить рациональную осадку платформы при воздействии экстремальных поверхностных волн в Черном море. Эффект стабилизации колебаний платформ при увеличении осадки проявляется достаточно отчетливо. Для платформы типа TLP этот эффект проявляется при увеличении длины волны и ее периода, хотя в этом случае амплитуда горизонтальных и вертикальных колебаний увеличиваются. Для платформы типа SPAR эффект стабилизации колебаний проявляется при изменении числа якорей, удерживающих модель в точке. При этом изменение количества якорей несущественно влияет на амплитуды горизонтальных и вертикальных колебаний модели платформы.

Полученные результаты комплексного исследования в опытовом волновом бассейне являются основанием для продолжения экспериментальных и модельных исследований, связанных с оценками воздействия штормовых волн на океанотехнические и гидротехнические сооружения и установки. Результаты экспериментальных исследований в дальнейшем могут использоваться в области судостроения, морских технологий и в области экспериментальной гидромеханики, в частности, для исследо-

вания в опытовых бассейнах моделей плавучих морских сооружений со сложными пространственными колебаниями под действием поверхностных волн.

Практическое применение комплекса цифрового оборудования для проведения экспериментальных исследований отражено в отчетах по научно-исследовательским работам: «Воздействие морской среды на океанотехнические системы», номер государственной регистрации 0106U013190; «Гидродинамика глубоководных платформ для условий Черного моря», номер государственной регистрации 0111U003328.

Список литературы:

- [1] Mienert J., Bryn P., Gas hydrate drilling conducted on the European margin / EOS. – 1997. Dec. 9. – P. 565–571.
- [2] Шнюков Е.Ф., Газогидраты метана в Черном море / Геология и полезные ископаемые океана. 2005. – № 2. С.41– 52.
- [3] Collett T.S., Kuuskraa V.A., Hydrates contain vast store of world gas resources / Oil and Gas J. 1998. – 96, No 19. P. 90–95.
- [4] Makogon Y.F., Holditch S.A., Makogon T.Y., Russian field illustrates gas-hydrate production / Ibid. 2005. – 103. – No 5. P. 43–47.
- [5] Reeburch W.S., Ward B.B., Whalen S.C., et al Black Sea methane geochemistry / Deep Sea Res. 1991. – 38, Suppl.2. P.1189–1210.
- [6] НД № 2-020201-013 Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и стационарных платформ; введ. 01. 03. 2014 – //Российский морской регистр судоходства. – СПб.: Российский морской регистр судоходства. 2014. – 484 с.
- [7] Р 31. 3. 07-01. Указания по расчету нагрузок и воздействий волн, судов и льда на морские гидротехнические сооружения – Госстрой СССР. – М.: Союзморниипроект. 2001. – 39 с.
- [8] СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования – М.: Стройиздат. 2003. – 36 с.
- [9] Кушнир В.М., Ларин М.К., Жемойдо Ю.Г., Гидродинамические нагрузки на морской терминал численное моделирование и экспериментальные данные / Вестник СевНТУ. – Севастополь. 2007. Вып. 80. С. 94–99.
- [10] Кушнир В.М., Федоров С.В., Душко В.Р., Благовидов Л.Б., Жемойдо Ю.Г. Оперативный контроль гидродинамических нагрузок на морские океанотехнические системы по данным спутниковых измерений / «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии НО-2007»: труды VI Российской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 23–25 мая 2007. С. 568–574.
- [11] Srinivasan, Nagan., Tension base TLP can support development in 4000 ft depths / Nagan Srinivasan // Offshore. March 1995. P. 48, 50, 65.
- [12] Морева И.Н., Особенности колебаний морских полупогружных платформ при воздействии штормовых волн / Сб. науч. тр. СХУЯЭиП. – Севастополь, 2006. Вып. 3(19). С. 152–161.
- [13] Морева И.Н., Иванова О.А., Родькина А.В., Анализ поведения модели морской полупогружной платформы типа TLP на волнении / Вісник СХУЯЭиП Сб. наук. пр. 2013. Вып. №3(47). С. 124–129.
- [14] Кушнир В.М., Федоров С.В., Душко В.Р., Технический и экологический мониторинг океанотехнических систем по данным дистанционного зондирования морской поверхности / Системы управления и автоматики: матер. науч.-техн. конф. Изд. СевНТУ 2007. С. 62–63.
- [15] Кушнир В.М., Федоров С.В., Петренко Л.А., Рекация Азово-Черноморского бассейна на интенсивный циклон 10-11 ноября 2007 г. по данным дистанционного зондирования / Морские испытания. 2008. № 1. С. 62–81.
- [16] Кушнир В.М., Душко В.Р., Федоров С.В., Воздействие морской среды на системы освоения шельфа / Монография. Изд. СевНТУ. Севастополь 2009. – 309 с.
- [17] Shaposhnikov V., Aleksandrov A., Platonov V., Litonov O., Appolonov E., Demeshko G., Development of methods for modeling dynamic interaction of fixed offshore structures with drifting ice fields and features / 25th International Ocean and Polar Engineering Conference, ISOPE 2015; Kona, Big Island; United States; 21 June 2015 до 26 June 2015; Код 115564: Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference, Volume 2015-January. 2015, Pages 1901–1904.
- [18] Zemlyak V.L., Baurin N.O., Petrosyan G.V., Kozin V.M., Influence of peculiarities of the form of a submarine vessel on the parameters of generated waves in the ice motion / 24th International Ocean

and Polar Engineering Conference, ISOPE 2014; 15–20 June 2014: International Society of Offshore and Polar Engineers, Busan, 2014, Pages 1135–1140.

[19] Kozin V.M., Zemlyak V.L., Study on wave resistance of a submarine moving under an ice sheet / 24th International Ocean and Polar Engineering Conference, ISOPE 2012; 17–22 June 2012: International Society of Offshore and Polar Engineers, Rhodes, 2012, Pages 1312–1314.

[20] Reddy D.V., Muggeridge D.V., Swamidass A.S.J. Dynamic response of moored semisubmersible to bergy bit impact, irregular wave, wind and current forces / Offshore Technology Conference. Houston, 1982. P. 537–556.

[21] Chakrabarti Subrata K., Handbook of offshore engineering / Offshore Structure Analysis, Inc. Plainfield, Illinois, USA. Volume II. 2005. Elsevier. P. 1267.

[22] Demirebilek Z. Ed., Tension Leg Platform: a state of the art review / New York: American Society of Civil Engineers. 1989. – 70 p.

[23] Кушнир В.М., Душко В.Р., Морева И.Н., Иванова О.А., Федоров С.В., Цифровая система для исследований океанотехнических систем в волновых бассейнах / Вісник ОНМУ Сб. наук. пр. 2012. Вып. №34 (1). С. 85–102.

[24] Filaretov V.F., Konoplin A.Yu., Konoplin N.Yu., Method of Synthesis of Automatic Correction Systems of Underwater Vehicles Linear Displacements / Annals of DAAAM for 2014, Volume 25, No.1, ISSN 2304-1382 & Proceedings of the 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, Volume 100, ISSN 1877-7058, Edited by Branko Katalinic, ELSEVIER. 2015. P 1434–1440.

[25] Filaretov V.F., Konoplin A.Yu., System of Automatically Correction of Program Trajectory of Motion of Multilink Manipulator Installed on Underwater Vehicle / Annals of DAAAM for 2014, Volume 25, No.1, ISSN 2304-1382 & Proceedings of the 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, Volume 100, ISSN 1877-7058, Edited by Branko Katalinic, ELSEVIER. 2015. P 1441–1449.

[26] Иванова О.А., Experimental Researches Automation of Spatial Oscillations of the Floating Ocean Engineering Systems in the Wave Basin / Proceedings Engineering of the 26th International DAAAM Symposium «Intelligent Manufacturing & Automation» 21-24th October 2015, Zadar, Croatia, EU, Volume 26, No. 1, ISSN 1726-9679, Ed. B. Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria, EU, 2016. PP. 1059–1067.

[27] Иванова О.А., Кушнир В.М., Благовидова И.Л. Физические модели глубоководных буровых платформ типа TLP и SPAR для проведения экспериментальных исследований их динамики в опытовом бассейне / Вісник СевНТУ. Севастополь. 2014. № 153. С. 72–79.

[28] Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод. М.: Мир, 1988. – 324 с.

COMPLEX STUDY OF SPATIAL FLUCTUATIONS OF FLOATING OBJECTS AND THEIR STABILIZATION PARAMETERS IN THE EXPERIMENTAL BASIN

E.M. Gramuzov, O.A. Ivanova

Key words: basin, amplitude of fluctuations, wave-recording gauge, Froude number, model, platforms, experimental studies

The article presents the results and analysis of experimental studies of spatial fluctuations of floating objects and their stabilization parameters in the experimental basin. A scheme for performing measurements of spatial fluctuation parameters for floating objects on physical models of drilling platforms has been developed. The characteristics of angular and translational fluctuations of physical models are determined using the developed complex of digital equipment, the parameters of their stabilization depending on the configuration of the platforms.

Статья поступила в редакцию 03.05.2018 г.

УДК 629.122

Е.В. Купальцева, аспирант ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Е.П. Роннов, д.т.н., зав. каф., профессор, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ С ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЕМ ДЛЯ ВНУТРИГОРОДСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ ЛИНИЙ

Ключевые слова: пассажирское судно, электродвижение, математическая модель, экономическая эффективность.

Оценка экономической эффективности судов с нетиповым комплексом судовой энергетической установки (СЭУ) производится для «малых» пассажирских судов, работающих на внутригородских и пригородных линиях. Результатом разработанной методики является программный продукт в среде Visual Basic For Application (VBA). При определенных исходных данных с его помощью возможно рассчитать критерии экономической эффективности для судна как с классической СЭУ, так и с заданным нетиповым комплексом.

Создание более экологически привлекательной техники с точки зрения снижения вредных выбросов и ресурсосбережения является важнейшей целью разработки и продвижения инновационных проектов в различных сферах деятельности, в том числе и на транспорте. Концепция использования электродвижения на транспорте сводится к системе использования исключительно электрического двигателя либо совместно с двигателем внутреннего сгорания (так называемая комбинированная или гибридная установка).

На водном транспорте, ввиду растущих цен на топливо и ужесточающихся требований к выбросам, также стимулируется переход к использованию судовых энергетических установок современного исполнения или так называемых зеленых судов. Однако, в отличие от наземных транспортных средств, в судовых системах практически невозможно получать энергию рекуперации, что, в свою очередь, делает менее очевидным экономический эффект от применения комбинированного либо полностью электрического привода [1].

Согласно исследованиям [2, 3] рациональность использования электрических двигателей и аккумуляторных батарей в качестве накопителей энергии может иметь перспективу на судах, для которых характерны короткие линии эксплуатации, относительно небольшие размеры и скорости. К таким типам можно отнести и пассажирские суда внутригородского и пригородного сообщения, которые условно относят к «малым» пассажирским судам, а за рубежом их часто называют «водные маршрутные такси». Конструктивные и эксплуатационные особенности судов подобного типа рассмотрены в нашей работе [4]. Задача состоит в определении условий эксплуатации, обосновании главных элементов и характеристик судов с электродвижением, когда они по экономическим показателям будут сопоставимы с такими же судами, но с дизельной энергетической установкой. Противоречивость вытекает из того, что единица мощности, подводимая к движителю, источником которой является электроэнергия от берегового источника, дешевле, чем вырабатываемая судовым дизелем. С другой стороны стоимость аккумуляторной СЭУ при определенном скоростном режиме и протяженности линии становится выше дизельной. Для решения стоящей задачи была разработана математическая модель проектирования и расчета эксплуатационно-экономических показателей работы на линии судна с электродвижением, позволяющая анализировать влияние изменения той или иной определяющей величины на его

показатели в целом. Особенности модели и алгоритм расчета по ней, приведенные в нашей работе [5], легли в основу программного продукта, созданного как приложения в среде VBA (Visual Basic for Application).

В качестве вариантов комплекса оборудования СЭУ судна с электродвижением в математической модели рассмотрены следующие:

- полностью электрический (All-El): питание энергией гребного электродвигателя производится от аккумуляторных батарей (АКБ), заряжаемых от береговой станции;
- комбинированный (Hyb a/b): параллельная система питания гребного электрического двигателя (ЭД) от АКБ и от судового дизель-генератора (ДГ) с различным соотношением долей энергии, передаваемой аккумуляторами либо генератором. При этом АКБ заряжаются при помощи ДГ, установленном на судне. Показатель a/b при обозначении данного типа показывает долю того или иного источника энергии в процентах;
- комбинированный полный (FullHyb): является одним из вариантов комбинированной СЭУ при 100% обеспеченности энергией гребного электродвигателя от АКБ, заряжаемых судовым ДГ.

Каждый из представленных вариантов дополнительно был рассмотрен при условии наличия фотоэлектрических модулей, установленных на открытых палубах судна и обеспечивающих получение добавочной электроэнергии.

С применением отмеченного выше приложения был выполнен широкий численный эксперимент, позволяющий проанализировать по экономическим показателям условия целесообразного применения «зеленых» судов.

Исходными данными являются определенные с использованием программы SPV-ОПТИМУМ [8] оптимальные главные размерения, пассажировместимость и эксплуатационные данные (скорость, длина линии эксплуатации) при заданном архитектурно-конструктивном типе (АКТ) и районе эксплуатации судна с дизель-механической установкой. Дополнительно задавалось значение инсоляции (количество солнечной энергии, поглощаемой одним квадратным метром поверхности) для рассматриваемого региона.

Задача обоснования целесообразности применения судов с электродвижением решалась сопоставлением их экономической эффективности с соответствующими показателями такого же судна, но с традиционной механической СЭУ по условию

$$\frac{\Theta_j^1(x_i)}{\Theta_j(x_i)} \geq 1,$$

где Θ_j^1, Θ_j – j -й показатель экономической эффективности судна с электродвижением и с дизель-механической СЭУ соответственно, полученные при x_i совокупности варьируемых параметров.

Варьировались различные значения пассажировместимости, скоростей хода и протяженности линии эксплуатации, поскольку от этих величин непосредственно зависит количество потребляемой судном энергии, расчетная ёмкость АКБ, их количество, масса и стоимость СЭУ и судна.

На рис. 1 приведены соотношения эксплуатационных расходов E' судна с электродвижением с эксплуатационными расходами такого же судна, но с дизельной СЭУ. Зависимости даны для различных значений варьируемых параметров, таких как скорость и длина линии эксплуатации при одинаковых данных судна пассажировместимостью 200 чел.

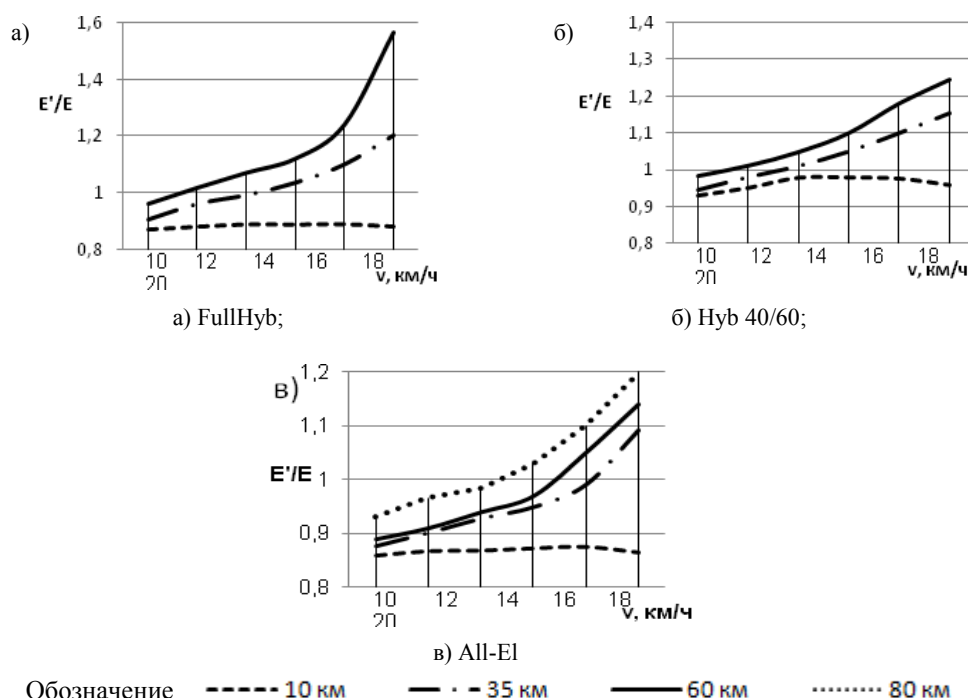


Рис. 1. Соотношение эксплуатационных расходов по судну с различными вариантами СЭУ

Проводя анализ полученных зависимостей, можно сделать вывод о том, что для судов полностью электрических (All-EI) при скорости движения до 15 км/ч, в предположении работы на линиях эксплуатации до 80 км, эксплуатационные расходы имеют меньшие значения, чем для варианта судна с ДВС. При меньших скоростях хода протяженность линии экономически эффективной эксплуатации судна без подзарядки аккумуляторов увеличивается. При малых скоростях, в пределах обозначенного диапазона, длина маршрута использования «зеленого» судна может достигать 90–95 км. Это связано с тем, что с уменьшением скорости и, соответственно, необходимой мощности пропульсивной установки, уменьшается ёмкость АКБ и время их зарядки. Стоит отметить, что масса энергетической установки сопоставляемых вариантов изменяется незначительно, а затраты на энергию (топливо для ДВС или электричество для ЭД) в силу существующей ценовой политики уменьшаются.

При других (комбинированных) вариантах СЭУ с электродвижением эксплуатационные расходы выше, а их сопоставимость с традиционным дизельным вариантом проявляется только при очень маленьких скоростях хода. При этом вариант «возить» на судне дизель-генератор для зарядки АКБ (вариант FullHub) является наименее эффективным и может рассматриваться как вынужденный при отсутствии другого способа зарядки аккумуляторов.

Характерное значительное увеличение расходов для «зеленых» судов при скоростях более 17 км/ч и длине линии эксплуатации более 35 км связано с тем, что при росте скорости необходимая мощность пропульсивного комплекса возрастает пропорционально v^3 , км/ч. Это приводит к значительному росту «банка батарей», их массы (рис. 2), расходов на зарядку, увеличению водоизмещения судна, его строительной стоимости (рис. 3) и эксплуатационных расходов, зависящих от нее. У дизельного варианта судна эти расходы увеличиваются менее интенсивно.

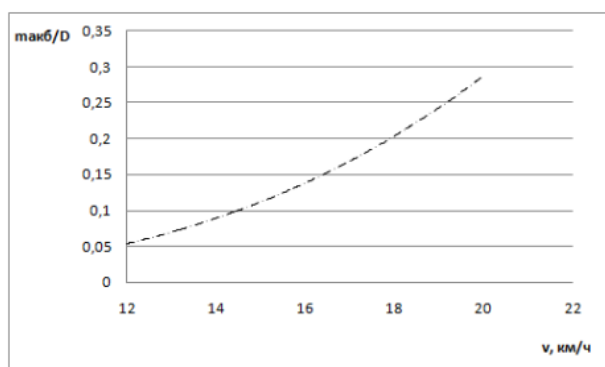


Рис. 2. Относительная масса АКБ в полном водоизмещении судна

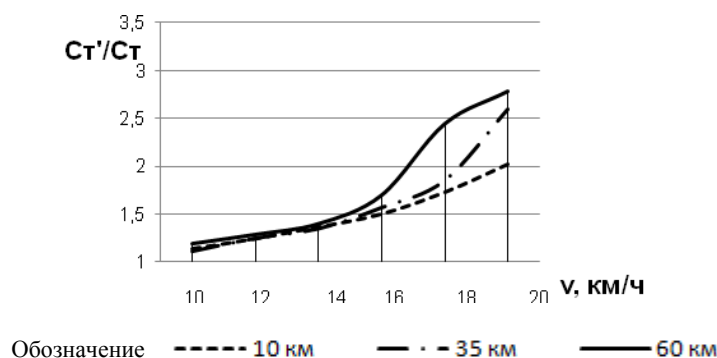
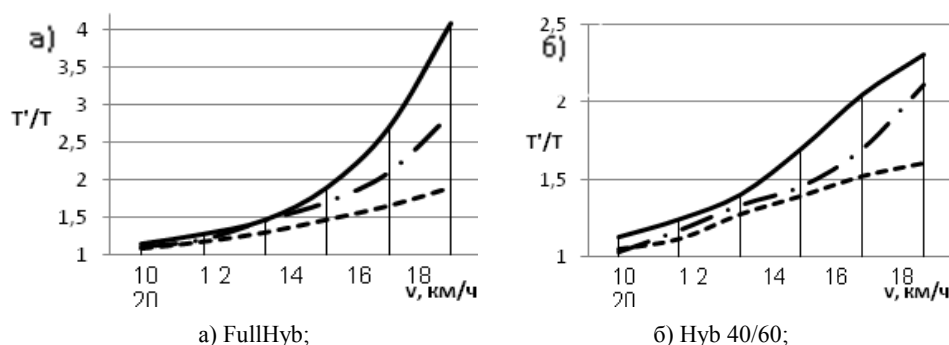


Рис. 3. Соотношение строительной стоимости судна варианта «All-El» и судна с дизельной СЭУ

Как видно из рис. 3, строительная стоимость «зеленого» судна выше обычного, и превышение может достигать более 2,5 раз. Это объясняется, прежде всего, тем, что для таких значений скоростей стоимость АКБ играет решающую роль. В зависимости от скорости и длины маршрута доля стоимости АКБ в строительной стоимости судна составляет от 11 до 35%.

Другим важным показателем экономической эффективности является срок окупаемости судна, отражающий отношение капитальных вложений на строительство судна к прибыли от его эксплуатации. На рис. 4 приведены соотношения сроков окупаемости T' судна с электродвижением к судну с механической СЭУ.



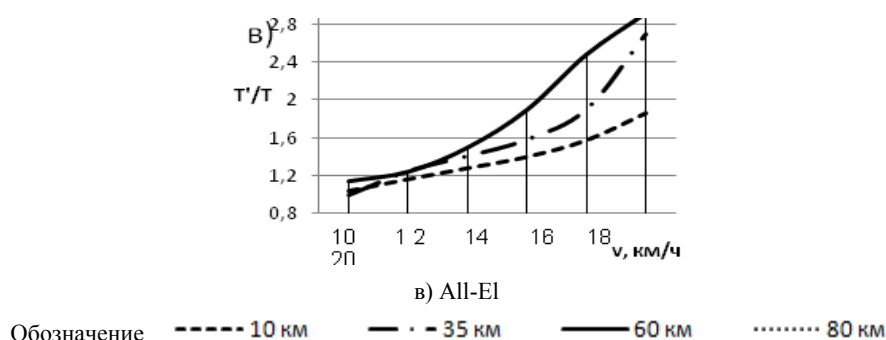


Рис. 4. Соотношение срока окупаемости судов с различными вариантами СЭУ

Анализ этих зависимостей позволяет сделать выводы о том, что для любого варианта судна с электродвижением срок окупаемости больше, чем для судна дизель-механической СЭУ. Прежде всего, это объясняется тем, что увеличение строительной стоимости значительно превышает увеличение прибыли от эксплуатации судна с перспективной гребной установкой. Таким образом, несмотря на уменьшение эксплуатационных расходов при соответствующих скоростях (рис. 1) окупаемость капитальных вложений «зеленых» судов хуже, чем традиционных.

В отношении других типов СЭУ судов с электродвижением и, в частности, вариантов Нуб а/б стоит отметить, что чем меньшая доля использования энергии, накопленной АКБ, тем более близок вариант по экономическим показателям к судну с ДВС. С комплексом FullNub, когда на борту располагается 100% батарей и ДГ для их подзарядки, в вариантах высоких скоростей имеет менее выгодные показатели относительно всех остальных. Объясняется это, прежде всего, тем, что наличие на судне дизель-генератора, используемого только для зарядки АКБ по понятным причинам увеличивает строительную стоимость судна и срок его окупаемости. Это особенно существенно при относительно высоких скоростях хода.

Оценить влияние пассажировместимости на рассмотренные выше относительные критерии можно по графикам, приведенным на рис. 5. На них показан характер изменения относительных критериев при различных эксплуатационных данных. Расчеты производились для различных показателей пассажировместимости при длине линии эксплуатации 15 км.

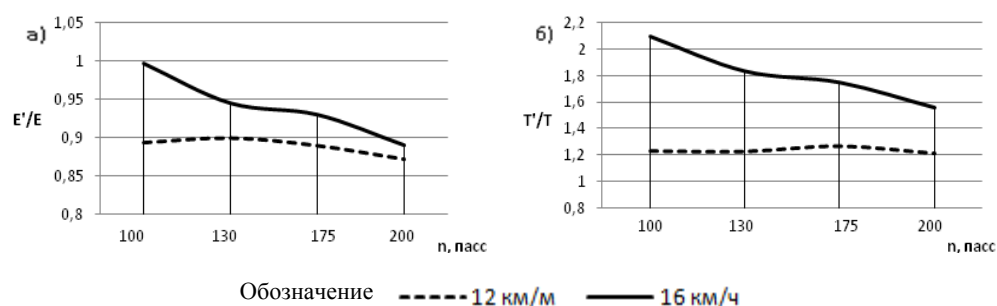


Рис. 5. Влияние пассажировместимости на показатели экономической эффективности «зеленого» судна

Оценивая характер кривых, можно отметить, что с ростом пассажировместимости характер изменения критериев имеет тенденцию улучшения. При невысоких скоро-

стях и относительно коротких длинах линии эксплуатации электродвижение, вне зависимости от числа пассажиров становится не хуже, чем с дизельной СЭУ.

Обобщающий вывод оценки рациональной области использования «малых» пассажирских «зеленых» судов, полученный на основании анализа данных систематических расчетов, приведен на рис. 6. Заштрихованная область соответствует сочетаниям скорости хода и протяженности линии эксплуатации, при которых эксплуатационные расходы по судну с вариантом СЭУ полностью электрическим (All-El) не превышает таковых судна с традиционной дизель-механической СЭУ. Подчеркнем, что главные элементы и характеристики сопоставляемых судов оптимальные, получаемые по программе SPV-OPTIMUM. Поскольку значения пассажироместимости и протяженности линии эксплуатации сопоставляемых судов одинаковы, то можно говорить, что в заштрихованной области затраты на перевозку одного пассажира на «зеленом» судне меньше.

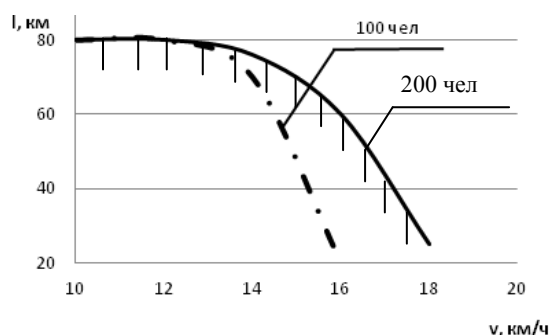


Рис. 6. Зона эффективного использования судна с электродвижением

В целом можно отметить, что при рациональном сочетании эксплуатационных и проектных данных при относительно небольших скоростях и коротких маршрутах целесообразно использовать полностью электрические энергетические комплексы с возможностью подзарядки батарей на коротких по времени остановочных пунктах и в ночное время отстоя судна от береговой сети. Данный вариант, прежде всего, применим при работе на внутригородских линиях в качестве водных такси и экскурсионно-туристических судов. На пригородных и местных линиях, когда могут потребоваться более высокие скорости хода и их протяженности и при проблемах получения тока с берега наряду с чисто электрическим возможен один из комбинированных вариантов СЭУ с АКБ и дизель-генератором, расположенным на борту судна. Во всяком случае, целесообразность применения этих гибридных вариантов СЭУ в каждом случае требует более детального анализа, учитывающего особенности условий эксплуатации.

Исследование возможности сделать «зеленые» суда более экономически привлекательными определяют необходимость снижения эксплуатационных расходов и строительной стоимости судна. Современные тенденции в области использования возобновляемых источников энергии, например, солнечной, приводит к необходимости проведения оценки возможности и целесообразности использования подобных систем на судах. Выполненный анализ показал, что использование солнечных батарей на рассматриваемых судах приводит к некоторому снижению эксплуатационных расходов. Однако, в общем объеме потребной мощности «зеленого» судна процент аккумулируемой солнечной энергии относительно мал – около 10 %, что соответствует лишь обеспечению внутренней потребности в электроэнергии на судне (освещение, агрегаты систем, приборы и прочее).

С точки зрения снижения строительной стоимости судов, использующих электрохимические источники энергии, необходимо отметить следующее. В реалиях современных технологий в области разработок электрохимических накопителей энергии с

точки зрения снижения их стоимости и массы и увеличения ёмкости мировые тенденции развиваются медленно. Однако существуют векторы положительной мировой практики в этих отраслях. Согласно исследованиям, проводимым в рамках развития электродвижения на наземном транспорте [7], видна тенденция снижения стоимости АКБ, увеличение их полезной емкости и, соответственно, доли их массы в полном водоизмещении судна. В настоящее время цена литий-ионной батареи, вырабатывающей энергии 1кВт/ч, колеблется в пределах 300...400\$. В перспективе считается вполне достижимой при современных технологиях цена в 150\$. Произведенные расчеты и оценка тенденции развития этих технологий показывают, что строительная стоимость «зеленого» судна, а соответственно, и срок его окупаемости относительно традиционного с ДВС могут уменьшиться на величину до 30%.

Применение электродвижения на судах также может положительно отразиться на экологии, так как в этом случае исключаются выбросы в атмосферу вредных выхлопных газов. По данным [8] при сжигании 1т дизельного топлива в воздушное пространство попадает около 24 кг сажи, до 50 кг углеводов и прочих опасных веществ. Однако в настоящий момент доля штрафов за вредные выбросы в общих расходах по судну не превышает 0,05%, что не имеет существенного влияния на доходы судовладельцев. Мировая тенденция увеличения платы за нарушение экологического баланса с каждым годом существенно возрастает и в перспективе может существенно повлиять на целесообразность использования электродвижения на водном транспорте, особенно на судах внутригородских линий.

Список литературы:

- [1] Völker T. Hybrid propulsion concepts on ships // *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*. 2013. – p. 66–76
- [2] Review of All-Electric and Hybrid-Electric Propulsion Technology for Small Vessels // *Nova Scotia Boatbuilders Association*. Halifax. 2015. – 34 p.
- [3] Веревкин В.Ф. Электроходы в рыбохозяйственном флоте Дальнего Востока // *Научные труды Дальрыбвтуза*. 2009. – 8 с.
- [4] Купальцева Е.В. Анализ проектных характеристик главных элементов пассажирских судов для внутригородских и пригородных линий. // *Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2015. – № 2 (30). – с. 119–129.
- [5] Купальцева Е.В. Особенности математической модели «малого» пассажирского судна с автономной электрической гребной установкой // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта – Н. Новгород.: ФГБОУ ВО «ВГУВТ»*, 2017. – №54. – С. 113–120.
- [6] Купальцева Е.В. Математическая модель оптимизации пассажирских судов пригородного и местного сообщения // *Вестник Волжской государственной академии водного транспорта – Н. Новгород.: ФГБОУ ВО «ВГУВТ»*, 2017. – № 53. – С. 101–107.
- [7] Nykvist B. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles / B. Nykvist, M. Nilsson // *Nature Climate Change*. 2015. – 13 p.
- [8] Расчет выбросов вредных веществ в атмосферу при свободном горении нефти и нефтепродуктов // *ТГНУ – Тюмень*, 2002 г. – 9 с.

SUBSTANTIATION OF ELEMENTS AND CHARACTERISTICS OF PASSENGER VESSELS WITH ELECTRIC PROPULSION FOR INTRAURBAN AND SUBURBAN LINES

E.V. Kupaltseva, E.P. Ronnov

Key words: passenger vessel, electric propulsion, mathematical model, economic efficiency

The estimation of the economic efficiency of vessels with an atypical complex of the ship power plant (SES) is made for «small» passenger vessels operating on intraurban and suburban lines. The result of the developed methodology is a software product in the Visual Basic For Application (VBA) environment. With certain initial data, it is possible to calculate

the economic efficiency criteria for a ship with both a classical SEM and a given non-typical complex.

Статья поступила в редакцию 06.04.2018 г.

УДК 629.5.061

С.В. Лебедева, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
В.И. Мерзляков, к.т.н., ст. преподаватель ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДЕМПФИРОВАНИЯ ВОДЫ НА ГРАНИЦУ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ С КОЛЕСНЫМ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВЫМ КОМПЛЕКСОМ

Ключевые слова: *устойчивость, критерий Гурвица, самодемпфирование.*

По критерию Гурвица исследуется влияние самодемпфирования, присущее системе (или искусственно созданное) четвертого и пятого порядка на границу устойчивости.

Введение

В последнее время появился ряд публикаций, посвященных исследованию системы управления движением судна без использования рулевого комплекса. Исследования и разработка такой системы ведется под руководством д. т. н. В.И. Плющаева, зав. кафедрой радиоэлектроники ФГБОУ ВО «ВГУВТ» [1–4]. Разработанная система реализована на нескольких судах типа «ПКС-40» и хорошо себя зарекомендовала в эксплуатации. Аналогичные системы работают (или могут быть востребованы) не только на колесных судах (например, ледокол «Балтика»), но и в других областях техники, начиная от электромагнитных подвесов (ЭМП) роторов до квадрокоптеров. Изучение влияния отдельных факторов, учитываемых в математических моделях, представляет несомненный интерес.

Наиболее ярко это может быть проиллюстрировано на примере ротора на электромагнитных подшипниках. Исследований и публикаций по этой тематике достаточно много [5–10 и др.]. Достаточно сказать, что периодически проводятся международные конференции, посвященные этой тематике. Для системы управления электромагнитным подвесом ротора математическая модель аналогична модели управления судном с колесным движительно-рулевым комплексом (КДРК). Отличается только тем, что свойство самодемпфирования отсутствует (нужны дополнительные устройства, чтобы это демпфирование появилось).

Учет демпфирования среды проверен экспериментально в «ОКБМ Африкантов» применительно к системе электромагнитного подвеса [11]. Эксперимент проводился на осевом ЭМП, поскольку он состоял из двух независимых обмоток управления с магнитопроводами. Показано, что область устойчивости в плоскости параметров системы управления расширяется за счет ненулевого значения K_p при $K_d = 0$ (пропорциональный и дифференциальный коэффициенты). В результате получили возможность увеличения пропорционального коэффициента примерно в два раза.

Последующие попытки использовать то же решение применительно к радиальным подшипникам не увенчались успехом, поскольку на радиальных ЭМП был только один (общий) магнитопровод. Для получения демпфирующего эффекта следовало

бы, например, между электромагнитными полюсами разместить постоянные магниты, поскольку они обладают высоким магнитным сопротивлением, что исключает воздействие управляющего поля на постоянный поток магнитов.

Похожая ситуация с квадрокоптерами: в воздухе при сегодняшней конструкции демпфирование практически отсутствует. Для увеличения эффекта лучше корпус делать в форме тарелки.

Для судов влияние сопротивления воды является естественным демпфирующим эффектом. Ряд работ посвящен изучению влияния отдельных факторов на границу устойчивости СУ движением судов с КДРК. Продолжением работ в этом направлении и является данная работа.

Математическая постановка задачи

В работе [12] разработана математическая модель и проведены исследования качества управления судном без рулевого комплекса.

Исследования границы устойчивости в плоскости параметров системы управления движением выше перечисленных устройств достаточно актуальны в плане понимания влияния отдельных эффектов, учитываемых в математической модели на устойчивость системы.

Ниже приводится математическая модель, использованная в [12].

$$\begin{cases} \tau_p \cdot \frac{dn_1}{dt} + n_1 = f_{pr}(t, U_1) \cdot n_{max}; & (1) \\ \tau_p \cdot \frac{dn_2}{dt} + n_2 = f_{pr}(t, U_2) \cdot n_{max}; & (2) \\ m \frac{dV}{dt} = A [C_p(n_1, V) \cdot n_1^2 \cdot \text{sign}(n_1) + C_p(n_2, V) \cdot n_2^2 \cdot \text{sign}(n_2)] \cos \alpha - \zeta \frac{\rho V^2}{2} \Omega_{cm} \text{sign}(V); & (3) \\ J \frac{d\omega}{dt} = B [C_p(n_2, V) \cdot n_2^2 \cdot \text{sign}(n_2) - C_p(n_1, V) \cdot n_1^2 \cdot \text{sign}(n_1)] - M_R \cdot \text{sign}(\omega) & (4) \\ \frac{d\psi}{dt} = \omega + k \sin(2 \cdot (\psi + \phi)); & (5) \\ \frac{dy}{dt} = V \sin \psi + v \sin \phi (|\cos \psi| + 3 |\sin \psi|); & (6) \\ \frac{dx}{dt} = V \cos \psi + v \cos \phi (|\sin \psi| + 3 |\cos \psi|), & (7) \end{cases}$$

где n_1 и n_2 – частоты вращения левого и правого гребных колес соответственно;

n_{max} – максимальная частота вращения колеса;

$f_{pr}(t, U)$ – кривые разгона частотных приводов двигателей гребных колес (программируется при его настройке);

V – линейная скорость движения судна;

m – масса судна;

J – момент инерции судна с учетом присоединенных масс воды относительно центра масс;

α – угол между вектором тяги, создаваемым шевронными плицами гребных колес и диаметральной плоскостью судна;

M_R – момент силы сопротивления воды;

ω – угловая скорость поворота судна относительно центра масс;

U_1, U_2 – управляющие воздействия;

Ω_{cm} – площадь смоченной поверхности корпуса судна;

ζ – коэффициент сопротивления;

ρ – плотность воды;

$C_p(n, V)$ – коэффициент упора, полученный в результате модельных испытаний на этапе проектирования судна;

A, B – коэффициенты, зависящие от конструкции и размеров гребных колес и корпуса судна;

ψ – угол курса судна;

k – коэффициент, зависящий от момента, создаваемого воздействием ветра на корпус судна;

v – константа, определяемая скоростью ветра, аэродинамическим коэффициентом и площадью надводной части корпуса судна;

φ – угол, определяющий направление силы ветрового воздействия;

x, y – координаты перемещения по осям x и y на плоскости.

Для аналитических исследований устойчивости исходную модель необходимо в максимально возможной степени упростить, сохранив определяющие эффекты.

Уравнения 1 и 2 записаны, в сущности, относительно вектора тяги. Нас интересует составляющая вектора тяги, ответственная за изменение курса судна. В предположении асимметричного изменения скорости вращения колес (т. е. изменения скорости вращения на одну и ту же величину с разным знаком) сила, действующая на кормовую часть судна, может быть записана следующим образом $F = K(n_1^2 - n_2^2)$ или в приращениях: $F = K[(n_0 + \Delta n_1)^2 - (n_0 - \Delta n_2)^2] = 4Kn_0\Delta n$, где n_0 – некоторая частота вращения гребного колеса; K – коэффициент пропорциональности. Таким образом, система становится линейной в этой части. Далее можно рассуждать, какие инерции необходимо учитывать в первую очередь (рис.1). В частности, изменение скорости вращения колес при переходе с одной скорости вращения на другую можно записать в виде двух последовательно соединенных инерционных звеньев.

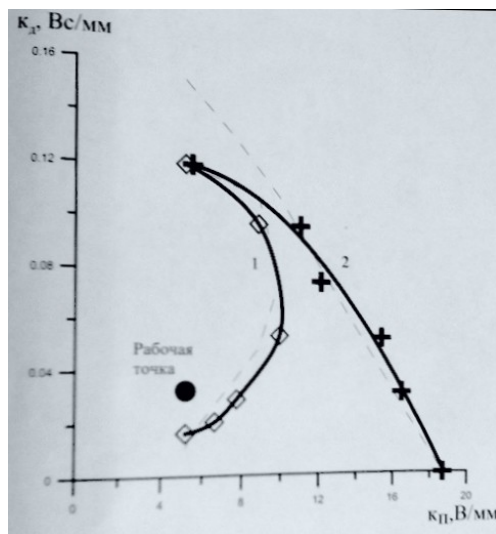


Рис. 1. Изменение границ области устойчивости:
1 – без учета демпфирования, 2 – с учетом эффекта демпфирования.

Поскольку интересует устойчивость судна на курсе, то уравнения 3 и 5 математической модели можно исключить. Уравнения запишем относительно курсового угла. Поэтому уравнения 6 и 7 также исключаются.

С учетом выше изложенного, исходная математическая модель может быть записана следующим образом:

$$J \frac{d^2 \Psi}{dt^2} = -B \cdot n_0 \Delta n - K \dot{\Psi};$$

$$\Delta n = \frac{\Delta n_{зад}}{\tau^2 p^2 + 2\tau p + 1};$$

$$\Delta n_{зад} = K_p \Delta \Psi + K_d \dot{\Psi};$$

$$J \Psi p^2 (\tau^2 p^2 + 2\tau p + 1) + K_p \Delta \Psi + K_d \Psi p + K \Psi p (\tau^2 p^2 + 2\tau p + 1) = 0,$$

где K – коэффициент демпфирования;

τ – постоянные времени обоих инерционных звеньев;

p – оператор Лапласа;

$n_{зад}$ – заданная частота вращения колес.

Таким образом, получаем характеристическое уравнение четвертого порядка

$$J \Psi \tau^2 p^4 + \Psi p^3 \tau (2J + K\tau) + \Psi p^2 (J + 2K\tau) + \Psi p (K_d + K) + K_p \Psi = 0.$$

Если пренебречь демпфирующими свойствами окружающей судно среды, то граница устойчивости исследована в работе [13] на примере системы управления ЭМП.

После перехода к безразмерному времени $t_{нов} = \frac{1}{\tau} t_{ст}$ характеристическое уравнение системы будет иметь вид:

$$J \frac{1}{\tau^2} p^4 + p^3 \frac{1}{\tau^2} (2J + K\tau) + p^2 \frac{1}{\tau^2} (J + 2K\tau) + p \frac{1}{\tau} (K_d + K) + K_p = 0.$$

Помножив на τ^2 , получим

$$J p^4 + p^3 (2J + K\tau) + p^2 (J + 2K\tau) + p \tau (K_d + K) + \tau^2 K_p = 0.$$

Коэффициенты характеристического уравнения:

$$a_0 = J;$$

$$a_1 = (2J + K\tau);$$

$$a_2 = (J + 2K\tau);$$

$$a_3 = \tau(K_d + K);$$

$$a_4 = \tau^2 K_p.$$

По критерию Гурвица система устойчива при следующем условии:

$$a_3(a_1 a_2 - a_0 a_3) - a_1^2 a_4 > 0.$$

Для нашей системы:

$$\tau(K_d + K)[(2J + K\tau)(J + 2K\tau) - J\tau(K_d + K)] - (2J + K\tau)^2 \tau^2 K_p > 0 \quad \text{или}$$

$$(K_d + K)[(2J + K\tau)(J + 2K\tau) - J\tau(K_d + K)] - (2J + K\tau)^2 \tau K_p > 0.$$

$$\text{При } K_d = 0 \quad K_p < \frac{K[(2J + K\tau)(J + 2K\tau) - KJ\tau]}{\tau(2J + K\tau)^2} \quad \text{или} \quad K_p < \frac{2K(J + K\tau)^2}{\tau(2J + K\tau)^2}.$$

Таким образом, чем больше момент сопротивления воды, тем больше область устойчивости системы управления, т. е. тем больше может задаваться пропорциональ-

ный коэффициент в системе управления. Роль учитываемых постоянных времени очевидна: чем меньше их величина, тем лучше.

При $K_p=0$

$$(2J + K\tau)(J + 2K\tau) - J\tau(K_d + K) > 0.$$

$$K_{d2} < \frac{(2J + K\tau)(J + 2K\tau)}{J\tau} - K, \text{ или}$$

$$K_{d2} < \frac{2(J + K\tau)^2}{J\tau},$$

а первый корень меньше 0. При $K = 0$ $K_d < \frac{2J}{\tau}$, что соответствует результатам в [13].

Учитывая, что K_p – квадратичная функция от K_d , максимальное значение K_p будет при значении $K_d = \frac{(J + K\tau)^2}{J\tau} - \frac{1}{2}K = \frac{J^2 + 1,5JK\tau + (K\tau)^2}{J\tau} > 0$.

Полученный результат означает, что максимально возможное значение K_p не может быть достигнуто при нулевом значении K_d при любом значении K , т.е. для достижения максимально возможного значения коэффициента пропорциональности необходимо вводить некоторую величину дифференциального коэффициента.

Если учесть эффект инерции возрастания силы тяги движителя, то получим характеристическое уравнение пятого порядка.

Рассмотрим изменение границы устойчивости системы управления судном с КДРК с учетом сопротивления воды.

Исходная математическая модель может быть записана в следующем виде:

$$J\ddot{\Psi} = -Bn_0 \Delta n - K\dot{\Psi};$$

$$\Delta n = \frac{\Delta n_{\text{зад}}}{(\tau p + 1)^3};$$

$$\Delta n_{\text{зад}} = K_p \Delta \Psi + K_d \dot{\Psi}.$$

$$J\ddot{\Psi} = -B \cdot n_0 \frac{K_p \Delta \Psi + K_d \dot{\Psi}}{(\tau p + 1)^3} - K\dot{\Psi}.$$

Соответственно, характеристическое уравнение будет иметь вид:

$$J\tau^3 p^5 + J3\tau^2 p^4 + J3\tau p^3 + Jp^2 + K_p + K_d p + Kp(\tau^3 p^3 + 3\tau^2 p^2 + 3\tau p + 1) = 0,$$

$$J\tau^3 p^5 + p^4(J3\tau^2 + K\tau^3) + p^3(J3\tau + 3\tau^2 K) + p^2(J + 3\tau K) + p(K_d + K) + K_p = 0.$$

Разделим на J и будем помнить, что все K_p , K_d , K разделены на момент инерции, сохранив обозначения.

$$\tau^3 p^5 + 3\tau^2 p^4 + 3\tau p^3 + p^2 + K_p + K_d p + Kp(\tau^3 p^3 + 3\tau^2 p^2 + 3\tau p + 1) = 0,$$

$$\tau^3 p^5 + p^4\tau^2(3 + K\tau) + p^3\tau(3 + K3\tau) + p^2(1 + K3\tau) + p(K_d + K) + K_p = 0.$$

Произведем переход к безразмерному времени $t_{\text{нов}} = \frac{1}{\tau} t_{\text{ст}}$.

$$\frac{1}{\tau^2} p^5 + \frac{1}{\tau^2} p^4 (3 + K\tau) + \frac{1}{\tau^2} p^3 (3 + 3K\tau) + \frac{1}{\tau^2} p^2 (1 + 3K\tau) + \frac{1}{\tau} p(K_d + K) + K_p = 0,$$

$$p^5 + p^4 (3 + K\tau) + p^3 (3 + 3K\tau) + p^2 (1 + 3K\tau) + \tau p(K_d + K) + \tau^2 K_p = 0.$$

Получены коэффициенты:

$$\begin{aligned} a_0 &= 1; \\ a_1 &= (3 + K\tau); \\ a_2 &= 3(1 + K\tau); \\ a_3 &= (1 + 3K\tau); \\ a_4 &= \tau(K_d + K); \\ a_5 &= \tau^2 K_p. \end{aligned}$$

По критерию Гурвица для устойчивости должны выполняться следующие условия:

$$\begin{aligned} a_1 a_2 - a_0 a_3 &> 0 \quad \text{и} \\ (a_1 a_2 - a_0 a_3)(a_3 a_4 - a_2 a_5) - (a_1 a_4 - a_0 a_5)^2 &> 0. \end{aligned}$$

Рассмотрим первое условие:

$$(3 + K\tau)3(1 + K\tau) - (1 + 3K\tau) = 9 + 3(K\tau)^2 + 12K\tau - 1 - 3K\tau = 8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau > 0.$$

Второе условие:

$$\begin{aligned} (8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau) \tau[(1 + 3K\tau)(K_d + K) - 3(1 + \tau K) \tau K_p] - \\ - \tau^2[(3 + \tau K)(K_d + K) - \tau K_p]^2 > 0. \end{aligned}$$

При $K_d = 0$

$$\begin{aligned} (8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau)[(1 + 3K\tau)K] - 3(1 + \tau K) \tau K_p - \tau[(3 + \tau K)K - \tau K_p]^2 = \\ = -\tau^3 K_p^2 + K_p \tau(1 + \tau K)[2\tau K - 3(8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau)] - \tau[(3 + \tau K)K]^2 + \\ + (8 + 3(K\tau)^2 + 8K\tau)(1 + 3K\tau)K. \end{aligned}$$

Рассмотрим свободный член полученного квадратного уравнения относительно K_p .

$$\begin{aligned} (8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau)[(1 + 3K\tau)K] - \tau[(3 + \tau K)K]^2 &= (8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau)K + \\ + (8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau) 3K^2 \tau - \tau K[9K + 6\tau K^2 + \tau^2 K^3] &= \\ = K\{(8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau) + (24 + 9(K\tau)^2 + 27K\tau)K\tau - \tau K[9 + 6\tau K + \tau^2 K^2]\} &= \\ = K\{(8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau) + \tau K(15 + 8(K\tau)^2 + 21K\tau)\} \end{aligned}$$

Преобразуем коэффициент при K_p .

$$\begin{aligned} -(8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau)3(1 + \tau K) \tau K_p + 2\tau^2(3 + \tau K)K K_p &= \\ = K_p \tau[-(24 + 9(K\tau)^2 + 27K\tau) - (24\tau K + 9(K\tau)^3 + 27K^2 \tau^2) + 2\tau(3K + \tau K^2)] &= \\ = K_p \tau[-(24 + 9(K\tau)^2 + 27K\tau) - (24\tau K + 9(K\tau)^3 + 27K^2 \tau^2) + (6\tau K + 2\tau^2 K^2)] &= \\ = K_p \tau[-(24 + 9(K\tau)^2 + 27K\tau) - 18\tau K - 9(K\tau)^3 - 25K^2 \tau^2]. \end{aligned}$$

Таким образом, условие устойчивости имеет вид:

$$\begin{aligned} & -\tau^3 K_p^2 + K_p \tau [-(24 + 9(K\tau)^2 + 27K\tau) - 18\tau K - 9(K\tau)^3 - 25K^2 \tau^2] + \\ & + K \{ (8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau) + \tau K (15 + 8(K\tau)^2 + 21K\tau) \} > 0 \quad \text{или} \\ & \tau^3 K_p^2 + K_p \tau [(24 + 9(K\tau)^2 + 27K\tau) + 18\tau K + 9(K\tau)^3 + 25K^2 \tau^2] - \\ & - K \{ (8 + 3(K\tau)^2 + 9K\tau) + \tau K (15 + 8(K\tau)^2 + 21K\tau) \} < 0. \end{aligned}$$

Не производя преобразований по вычислению дискриминанта полученного уравнения можно сказать, что существует только одно положительное значение K_p при $K_d = 0$, в отличие от случая, когда не учитывается трение (при $K_d = 0$ и $K = 0$ существует только тривиальное решение). Очевидно также, что с ростом трения область устойчивости возрастает.

При $K_p = 0$

$$\begin{aligned} & (8 + 3K\tau^2 + 8K\tau)(1 + 3K\tau)(K_d + K) - \tau[(3 + \tau K)(K_d + K)]^2 > 0. \\ & (K_d + K)_1 > 0, \quad (K_d + K)_2 < \frac{(8 + 3(K\tau)^2 + 8K\tau)(1 + 3K\tau)}{\tau(3 + \tau K)^2} \quad \text{или} \\ & K_{d1} > -K \quad K_{d2} < \frac{(8 + 3(K\tau)^2 + 8K\tau)(1 + 3K\tau)}{\tau(3 + \tau K)^2} - K. \end{aligned}$$

Значение K_d , при котором K_p будет иметь максимальное значение при

$$K_{d\text{ср}} = \frac{(8 + 3(K\tau)^2 + 8K\tau)(1 + 3K\tau)}{2\tau(3 + \tau K)^2} > 0.$$

При $K = 0$ подтверждается полученный в [14] результат $K_{d2} < \frac{8}{9\tau}$.

Из полученных соотношений можно сделать следующие выводы.

1. Область устойчивости смещается по оси K_d вниз на величину K , что не противоречит экспериментальным результатам [11].
2. Область устойчивости системы увеличивается по мере возрастания демпфирования.

Заключение

1. Влияние эффекта демпфирования, в рамках принятой математической модели, следует считать благоприятным как при учете двух инерционных звеньев, так и при учете трех звеньев. Демпфирование позволяет отказаться от формирования сигнала по производной от курса, увеличивает максимально допустимый коэффициент пропорциональной составляющей ПД регулятора. Следует заметить, что применительно к задаче управления судном полученный результат может повлиять только на структуру системы управления. Для систем, не обладающих свойством самодемпфирования, результат может определять возможности конструкции (например, для ротора машин на электромагнитных подшипниках ограничения по грузоподъемности подшипника могут оказаться решающими).

2. Анализ проводился в предпосылке одинаковых постоянных времени с целью упрощения выкладок, что снижает значимость полученных результатов, поскольку носят оптимистический характер. Представляется полезным проверить полученные результаты численным расчетом с учетом реальных значений инерций (возможно и более подробной математической модели).

3. Полученные результаты могут представлять интерес для более широкого круга проектировщиков (кроме судов с КДПК), например, для судов на воздушной подушке, где эффект демпфирования отсутствует и управление судном затруднено. Для улучшения качества управления, возможно, при маневрировании целесообразно применение небольших бортовых швертов. Аналогично для квадрокоптера можно предположить, что более предпочтительна форма тарелки.

4. Очевидным недостатком данной работы следует считать, принятое для упрощения, асимметричное управление скоростью вращения колес, что не может быть осуществлено во всех режимах модели эксплуатации судна.

Список литературы:

- [1] Плющаев В.И., Галкин Д.Н., Итальянцев С.А. Компьютеризованная система управления пассажирским колесным теплоходом. Речной транспорт (XXI век). 2014. № 6 (71). С. 35–37.
- [2] Грошева Л.С., Плющаев В.И. Анализ эффективности алгоритмов удержания судна колесным движительно-рулевым комплексом на заданной траектории. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2016. № 48. С. 47–55.
- [3] Плющаев В.И., Соловьев Д.С. Снижение влияния внешних воздействий на процесс удержания судна с колесным движителем на курсе. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2014. № 40. С. 61–65.
- [4] Грошева Л.С., Плющаев В.И. Анализ влияния погрешностей измерения параметров движения на качественные показатели процесса автоматического удержания судна с колесным движительно-рулевым комплексом на заданной траектории. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2017. № 51. С. 46–54.
- [5] Panagiotras Tsiotras, Murat Arcak, Low-Bias Control of AMB Subject to Voltage Saturation: State-Feedback and Observer Designs/IEEE Transaction on control systems technology, vol.13, No 2, march, 2005.
- [6] Chiba A., Fukao T., Ichiawa O., Oshima M., Takemoto M., Dorrel D.G. Magnetic bearings and bearingless drives, Newnes Publishers, London.
- [7] Schweitzer G., Maslen E.Y. Magnetic Bearing Theory, Design and Application to Rotating Machinery, Springer, Dtrlin, Germany, 2009.
- [8] Yohei Tamura, Toshiya Yoshida and Katsumi Ohniwa: «Improvement of Frequency Characteristic of Self-Sensing Active Magnetic Bearing with Zero-Bias Current Control», IEEJ Trans. IA, Vol. 130, No. 5, pp.711–712 (2010).
- [9] Magnetic Bearing and Bearingless Drives. A. Chiba, T. Fukao, O. Ichikawa, M. Oshima, M. Takenoto and D. G. Dorrell. Elsevier, GreatBritton.
- [10] Востоков В.С., Лебедева С.В. Исследования устойчивости полного нелинейного электромагнитного подвеса при децентрализованном управлении, М. РАН. Проблемы машиностроения и надежности машин, №5, 2007, С99-101.
- [11] Митенков Ф.М. Расчетно-экспериментальные исследования электромагнитного подшипника с дополнительным электромагнитом/ Митенков Ф. М., Кодочигов Н.Г., Друмов В.В. и др./ Проблемы машиностроения и надежности машин, №3, 2004, с.
- [12] Грошева Л.С., Плющаев В.И. Адаптивный алгоритм удержания судна с колесным движителем на курсе. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2015. № 43. С. 48–56.
- [13] Лебедева С.В. Исследование границы устойчивости линейной системы четвертого порядка. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск 46. – Н.Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016. С. 32–35.
- [14] Востоков В.С., Лебедева С.В. Об аналитическом исследовании устойчивости. Труды 19 международного научно-промышленного форума «Великие реки – 2017». Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Интернет журнал широкой научной тематики. Выпуск 6, 2017 г. Режим доступа: – <http://вф-река-море.рф/2017/PDF/34.pdf> – Загл. с экрана.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF WATER DAMPING ON THE STABILITY BOUNDARY OF A SHIP STEERING SYSTEM WITH A WHEELED PROPULSION-STEERING COMPLEX

S.V. Lebedeva, V.I. Merzlyakov

Key words: *Stability, Gurrwitz, self-damping.*

An influence of system inherent (or artificially introduced) self-damping on stability boundaries is studied using Hurwitz criterion.

Статья поступила в редакцию 06.04.2018 г.

УДК 629.54.9.01

В.И. Любимов, д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНОГО ТИПА СОВРЕМЕННЫХ РЕЧНЫХ КРУИЗНЫХ СУДОВ

Ключевые слова: *пассажирское судно, круизное судно, архитектурно-конструктивный тип, корпус, надстройка, рулевая рубка, пассажирский салон, пассажирская каюта, архитектурный анализ*

Рассмотрены особенности обоснования архитектурно-конструктивного типа (АКТ) перспективных речных круизных судов, в том числе судов смешанного (река-море) плавания, позволяющие на стадиях концептуального проектирования сформировать виртуальную модель судна, выполнить архитектурный анализ

В начале 70-х годов XX века, когда Горьковское ЦКБ «Вымпел» вело разработку проекта правительственной яхты «Россия», начальник отдела архитектурного проектирования судов Владимир Викторович Сергеев часто напоминал коллегам: «Архитектура – категория экономическая, она предполагает максимальный положительный эстетический, технологический, эксплуатационный и экономический эффект при минимальных затратах труда и материалов». В настоящее время совет известного архитектора представляется особенно актуальным, поскольку пришла пора проектирования и постройки нового поколения пассажирских судов, в том числе и туристического назначения [1].

Пассажирские перевозки на внутреннем водном транспорте можно разделить на следующие: туристические, экскурсионные, местные, пригородные и внутригородские. Каждый вид пассажирских перевозок включает в себя свой тип судов, обеспечивающий определенный комфорт поездки и эксплуатационную скорость.

С каждым годом в России увеличивается география круизов по внутренним водным путям. При этом особое внимание уделяется постройке высококомфортабельных судов, предназначенных для перевозки отечественных и зарубежных туристов. В настоящее время речные круизы осуществляются на комфортабельных пассажирских судах проектов 301, 302, 92-016, Q-040, Q-065 [2]. Основные характеристики туристических судов приведены в табл. 1.

Высокий комфорт поездки на круизных судах, возможность познакомиться с достопримечательностями городов, зеленые стоянки с каждым годом привлекают на реч-

ные суда все больше туристов, в том числе и иностранных. Пассажировместимость туристических судов изменяется в пределах от 180 до 328 человек, а скорость хода – от 22,6 до 26 км/ч. Осадка судов зависит от линий эксплуатации на реках и водохранилищах. В зависимости от класса и комфортабельности энерговооруженность туристических судов (N/D) изменяется от 0,573 до 0,728 кВт/т, а энергетическая эффективность

$$\left(\frac{N}{n_{\text{пас}} \cdot v} \right) - \text{в диапазоне от } 0,24 \text{ до } 0,334 \text{ кВт} \cdot \text{ч/пасс.} \cdot \text{км.}$$

Таблица 1

Основные характеристики пассажирских туристических судов

Характеристики	Проекты					
Номер проекта	301	302	92-016	Q-040	Q-056	Q-065
Класса судна	✳О 2,0	✳М 3,0	✳О 2,0	✳О 2,0	✳М 3,0	✳О 2,0
Пассажировместимость, $n_{\text{пас}}$, чел.	254	290	328	218	250	180
Длина по КВЛ, м	125	129	135,7	110,1	115,6	90,2
Ширина по КВЛ, м	16,70	16,70	16,80	14,5	16,5	15
Осадка, м	2,70	2,90	2,90	2,20	2,80	1,60
Скорость хода, v , км/ч	26	25,5	26	24	25,5	22,6
Мощность СЭУ, N , кВт	2206	2206	2206	1324	1986	978,2
Водоизмещение, D , т	3545	3846	3935	2099	2915	1342
Энерговооруженность N/D , т	0,622	0,573	0,560	0,630	0,681	0,728
Энергетическая эффективность, $N/n_{\text{пас}} \cdot v$, кВт·ч/чел·км	0,334	0,298	0,258	0,253	0,311	0,240

Следует отметить, что, начиная с 70-х годов XX века, отмечается повышенный интерес к круизным поездкам пассажиров. Среди желающих побывать в круизах все больше молодежи. Многие отправляются в круизы с детьми. Повышенный интерес к водному туризму требует создания специализированных морских и речных судов. Растут размеры и пассажировместимость строящихся и введенных в эксплуатацию круизных судов. По уровню предоставляемых услуг многие суда не уступают отелям. Наряду с крупнотоннажными плавучими судами, за рубежом строятся и круизные суда небольшого водоизмещения с небольшой осадкой. В этом направлении отечественному флоту нужны современные круизные суда, приносящие определенный доход.

Большое беспокойство судоходных компаний в России вызывает возраст эксплуатируемых судов, который изменяется от 30 до 45 лет. Если учесть, что за рубежом предельный срок эксплуатации пассажирских судов не превышает 50 лет, то в ближайшие годы Россия может потерять возможность эксплуатации круизного флота [3]. Возрождение пассажирского флота должно идти по пути максимального удовлетворения интересов и потребностей клиентов за счет создания новых пассажирских судов, позволяющих расширить сферы их использования. Решение этой сложной проблемы без помощи государства не под силу даже таким крупным туроператорам, как «Водоход» и «Мостурфлот».

В связи с изложенным с удовлетворением было воспринято решение Правительства РФ о выделении средств на постройку пассажирских судов смешанного (река-море) плавания для расширения географии водного туризма. Планируется, что создание новых судов позволит значительно расширить маршруты водных путешествий за счет посещения морских портов Республики Крым, Севастополя, Сочи и Абхазии.

Создание новых круизных судов требует тщательного анализа условий их эксплуатации, обоснования архитектурно-конструктивного типа (АКТ) и мореходных качеств.

В настоящее время круизные речные перевозки в России осуществляются в 13 районах из 85. Основной пассажиропоток формируется в Центральных регионах России, Поволжья, районах Сибири и Дальнего Востока. Главными портами формирования речного туризма являются Москва, Санкт-Петербург и Нижний Новгород. В последнее десятилетие заметно возрос поток российских и зарубежных туристов, которые совершают круизы по магистральным рекам.

Из-за отсутствия туристических судов с малой осадкой туризм на боковых и малых реках не развивается.

Общий объем пассажирских перевозок в России составляет 14,0–16,0 млн. человек в год. Основными принципами, сдерживающими рост объемов пассажирских перевозок, являются низкая платежеспособность населения, финансовый кризис, низкая рентабельность и недоступность кредитов, старение пассажирского флота, ухудшение состояния внутренних водных путей (ВВП). В сложившихся условиях следует продолжить поиск путей совершенствования речного туризма за счет постройки новых круизных судов, улучшение сервиса обслуживания туристов, открытие новых линий.

Потенциальным направлением развития водного туризма является постройка пассажирских судов смешанного (река-море) плавания, которые могут работать в период навигации на ВВП, а после ее завершения – в прибрежном плавании. Проекты речных судов были разработаны в 2013 году Морским инженерным бюро (ЗАО «МИБ СПб»). Первое такое судно – «Волго-Балт макс» (проект PV500VB), пассажироместимостью 500 чел., предназначено для эксплуатации на линии Москва–Санкт-Петербург–Астрахань. Для него предусмотрена возможность выхода в Финский залив, а также в Балтийское и Северное море. Второе судно – «Волго-Дон макс» (проект PV300VD) имеет пассажироместимостью 300 чел., предназначено для эксплуатации на ВВП с выходом в прибрежные морские районы [4]. Основные характеристики упомянутых судов приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Основные характеристики пассажирских судов
смешанного (река-море) плавания**

Характеристики	Проекты	
	PV500VB	PV300VD
Номер проекта		
Класс судна	✱М-ПР 2,5 (лед 30) А	КМ ⚙ Ice1 R2-RSN AUT1-IC5
Длина габаритная, м	179,9	140,2
Длина расчетная, м	176,0	130,8
Ширина габаритная, м	17,0	16,6
Ширина расчетная, м	16,8	16,2
Высота борта, м	5,5	5,5
Осадка, м	3,2	3,2
Высота габаритная от ОП, м	16,4	17,2
Скорость хода, км/ч	22,5	23,0
Экипаж и обслуживающий персонал, чел	117	76
Автономность по запасам топлива, сут.	15	15

Теплоход «Волго-Балт макс» (проект PV500VB) спроектирован на класс РРР ✱М-ПР 2,5 (лед 30) А. АКТ – стальное самоходное трехвинтовое судно с полноповорот-

ной винто-рулевой колонкой в ДП, с наклонным форштевнем и транцевой кормой, избыточным надводным бортом, удлиненным баком и ютом, четырехъярусной надстройкой, кормовым расположением МП (рисунок 1).

Отличительной особенностью судна является повышенный комфорт для пассажиров. Судно имеет 97 стандартных двухместных кают площадью $15,5 \text{ м}^2$; 72 двухместные каюты с «французским» балконом площадью 17 м^2 ; 64 двухместные каюты с балконом площадью около 17 м^2 ; 24 двухместные каюты «люкс» с балконом площадью около 26 м^2 и двух «люкс» - апартаменты с балконом площадью 41 м^2 . Примечательно, что пассажировместимость судна может варьироваться с помощью каютных модулей.

Каюты для туристов расположены в средней вертикальной зоне на 4-х ярусах надстройки и в корпусе. В корпусе в средней вертикальной зоне предусмотрены помещения для экипажа. Каюты на верхней и солнечной палубах имеют собственные балконы со сдвижными секциями.

В носовой вертикальной зоне расположены ресторан, музыкальный салон с баром, трансформируемые конференц-залы, камбуз, кладовые, кают-компания и помещения для отдыха экипажа.

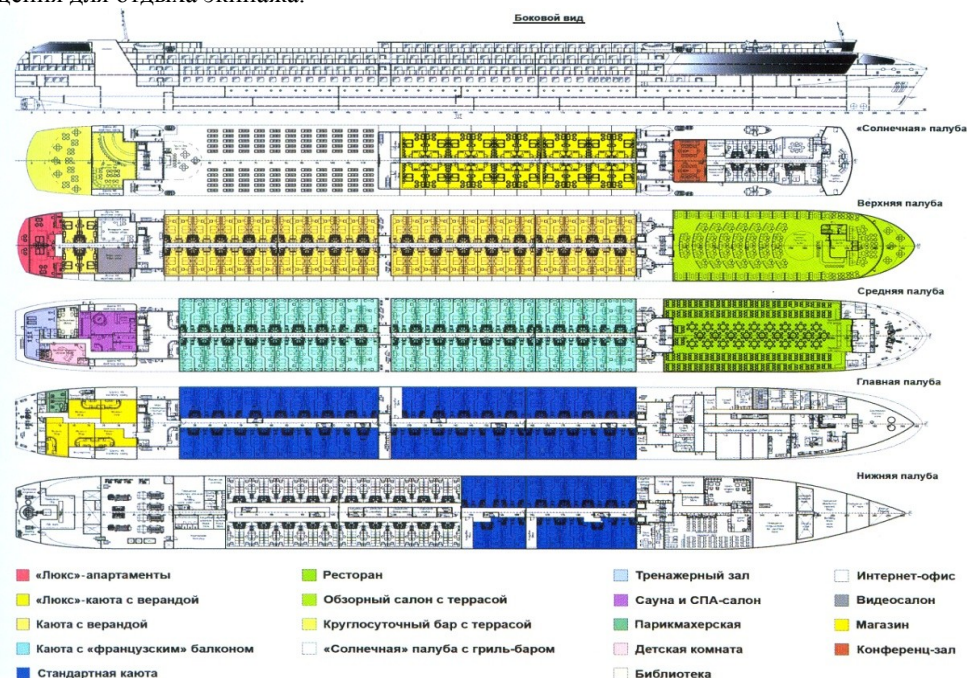


Рис. 1. Схема общего расположения пассажирского судна «Волго-Балт макс» (проект PV500VB)

Кормовая вертикальная зона отведена для помещений отдыха и развлечений туристов, включая тренажерный зал, массажную, библиотеку, магазины и др.

Теплоход «Волго-Дон макс» (проект PV300VD) спроектирован на класс РМРС «КМ★Ice1 R2-RSN AUT1-IC5». АКТ – стальное самоходное трехвинтовое судно с наклонным форштевнем и транцевой кормой, избыточным надводным бортом, удлиненным баком и ютом, 4-х ярусной надстройкой, кормовым расположением МП.

Как и теплоход «Волго-Балт макс», оно отличается повышенным комфортом размещения пассажиров. В частности, имеет 144 стандартные двухместные каюты площадью около 13 м^2 и 6 кают «Люкс». В зависимости от установленных каютных модулей пассажировместимость судна может варьироваться от 250 до 300 мест.

Каюты для туристов расположены в средней зоне на четырех ярусах надстройки. Каюты «Люкс» имеют собственные балконы. Каюты для экипажа располагаются в корпусе.

В носовой вертикальной зоне расположены музыкальный салон с баром, трансформируемые конференц-залы, другие помещения для отдыха. В корме располагаются двухъярусный ресторан, камбуз, кладовые и МП.

Анализ показывает, что внутренняя компоновка круизных судов имеет свою специфику. Все помещения разделены на три категории: пассажирские, помещения для экипажа и служебные. При этом под термином «пассажирские помещения» понимается комплекс помещений, необходимых для создания нормальных условий пребывания пассажиров на судне. На круизных судах развита система общественных пассажирских помещений. Удельный объем таких помещений на одного пассажира на некоторых круизных судах достигает 100 м^3 и более. На многих судах в носовой части надстройки устраивают обзорные веранды и рестораны [5].

Пассажирские каюты разделяются на несколько классов по комфортабельности (по уровню предоставляемых удобств и услуг) и в зависимости от типа и компоновки круизного судна. Каюты 1-го и 2-го классов имеют санузел, комфортабельные спальные места и места для отдыха. Каюты «люкс» представляют апартаменты, которые ничем не отличаются от гостиничных номеров высшего класса. Вместе с тем сравнение с Волжскими пассажирскими судами показывает, что у новых судов мало прогулочных палуб и мест для отдыха пассажиров на воздухе. При этом обеспечение высокого комфорта поездки ведет к значительному повышению стоимости выбранного тура.

Следует обратить внимание и еще на один важный вопрос – увеличение срока эксплуатации за навигацию. Моделирование эксплуатационной деятельности новых судов, приведенные ЦНИИМФ, показало, что срок окупаемости теплохода «Волго-Дон макс» составляет 13,8 года, а теплохода «Волго-Балт макс» – 10,7 года. При значительном различии по пассажироместимости преимущество в сроках окупаемости первого судна обусловлено более продолжительным периодом эксплуатации (до 300 сут.) в южных районах [4].

Еще одним потенциальным направлением в создании нового туристического флота, позволяющего значительно расширить сферы перевозок туристов, является постройка мелкосидящих судов с колесным двигателем (ПКС).

Анализ условий плавания на боковых и мелководных реках показывает, что главные размерения новых судов не должны превышать длину по КВЛ 50 м, ширину 11,7 м, осадку не более 0,8 м. В качестве двигателей целесообразно использовать движительно-рулевой комплекс (ДРК) – гребные колеса, скомпонованные в корме. Значительная часть корпуса имеет цилиндрическую вставку с прямоугольными круглоскулыми шпангоутами, что упрощает технологию постройки судна. Уже накоплен опыт проектирования и эксплуатации таких судов. Первое судно такого типа ПКС-40 «Сура» было спущено на воду в ноябре 2010 года. Второе судно «Колесовъ» – в 2013 году, а третье судно «Доброходъ» – в 2015 году. Первое судно базируется и работает в Нижнем Новгороде, второе – в Москве. Третье судно планируется использовать в районе города Севастополь [6].

Опыт эксплуатации первых судов типа ПКС показал перспективность их использования в условиях малых рек.

Следующим шагом в создании более крупных судов этого типа является постройка круизного теплохода «Золотое кольцо» (рисунок 2). Судно спроектировано на класс PPP « Φ О 2,0», имеет габаритную длину 58,7 м, габаритную ширину 13,4 м, высоту борта 1,5 м, осадку 0,8 м. Пассажироместимость 240 чел. Мощность СЭУ – $2 \times 300 \text{ кВт}$, скорость до 20 км/ч.

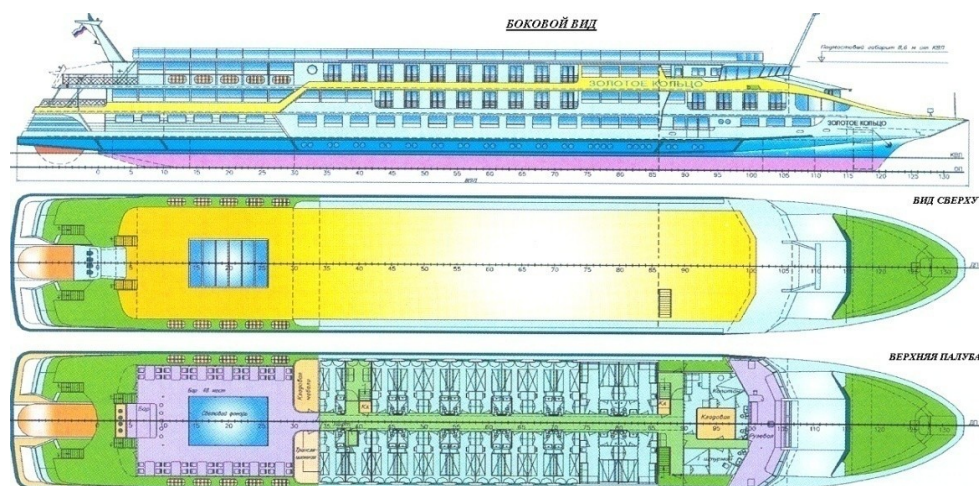


Рис. 2. Схема общего расположения пассажирского судна «Золотое кольцо»

На судне «Золотое кольцо» учтен опыт проектирования и эксплуатации судов этого типа: усилен корпус, сделаны вторые борта, рационально использовано междудонное пространство. Оптимизировано расположение жилых помещений. Представляется оригинальным и архитектурное решение. Судно представляет собой три горизонтальных ряда остекленной надстройки, которая в носовой части завершается рулевой рубкой и помещениями различного назначения, а в корме – ДРК. Основу ДРК составляют дизель-электрические СЭУ, приводящие в действие гребные колеса, расположенные в корме [7].

Следует отметить, что в соответствии с «Транспортной стратегией РФ на период до 2030 года», утвержденной Правительством России № 1734 р 22.11.2008 г., запланирована постройка пяти пассажирских судов «Золотое кольцо».

Приведенные данные могут быть использованы при обосновании архитектуры пассажирских круизных судов, формировании виртуальной модели судна и его архитектурном анализе [8].

Список литературы:

- [1] Фальмонов Е.В. Архитектура пассажирских судов и роль корабельного инженера в создании судна // Речной транспорт (XXI век), 2012, № 2.
- [2] Любимов В.И. Архитектурное проектирование судов: учебное пособие. Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2011.
- [3] Ward D/ Complete Guide to Cruising and CruiseShips. – London: Berlits Publishing, 2007.
- [4] Егоров Г.В., Анисимов К.О. Отличные теплоходы (Проекты новых круизных пассажирских судов) // Речной транспорт (XXI век), 2013, № 3.
- [5] Суров О.Э., Парняков А.В. Особенности дизайна современных кают на круизном судне // Вестник ВГАВТ. Вып. 47. Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2016.
- [6] Колесный круизный теплоход «Сура» // Речной транспорт (XXI век), 2012, № 3.
- [7] Галкин Д.Н., Малый Ю.А. От «Суры» к «Золотому кольцу» // Речной транспорт (XXI век), 2015, № 2.
- [8] Панченков А.Н., Любимов В.И. Концептуальное проектирование судов: идеология, основания и виртуальная среда // Вестник ВГАВТ. Вып. 28. Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ». – 2010.

PECULIARITIES OF THE SUBSTANTIATION OF THE ARCHITECTURAL-DESIGN TYPE OF THE CRUISE SHIP

V.I. Lyubimov

Key words: *passenger vessel, cruise ship, architectural and constructive type, hull, superstructure, wheelhouse, passenger compartment, passenger cabin, architectural analysis.*

The features of the substantiation of the architecturally-constructive type (ACT) of promising river cruise vessels, including mixed (river-sea) navigation vessels, are considered allowing to form a virtual model of a ship at the stages of conceptual design, to perform architectural analysis.

Статья поступила в редакцию 07.05.2018 г.

УДК 629.12

Е.П. Роннов, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

С.В. Преснов, к.т.н., директор московского филиала РРР

125195, г. Москва, Ленинградское шоссе, 59

Ю.А. Кочнев, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

РАСЧЁТ И ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В АВТОСЦЕПЕ ТОЛКАЕМОГО СОСТАВА ПРИ ХОДЕ НА ВОЛНЕНИИ

Ключевые слова: *толкаемый состав, автосцеп, регулярная качка, дифференциальные уравнения качки*

В статье приведена формулировка задачи и математическая модель определения усилий в автосцепе сцепного устройства толкаемого состава. Представлены результаты тестовых расчётов и проведён анализ полученных значений.

Перемещение несамоходных судов методом толкания уже более пятидесяти лет применяется в нашей стране при перевозке массовых грузов на внутренних водных путях. Его эффективность доказана в работах отечественных ученых и специалистов и неоспоримо подтверждена эксплуатационной практикой освоения грузопотоков.

Внедрение этого метода потребовало решения многих новых вопросов, связанных как с организацией работы флота, так и с конструкцией судов, образующих толкаемый состав. Одним из основных из них была разработка специальных автосцепов, обеспечивающих автоматическую сцепку судов состава между собой.

Несмотря на отработанные и проверенные временем конструкции этого судового устройства, реализованные в одно- и двухзамковых автосцепках, например типа О-200 и УДР соответственно, для повышения надёжности в эксплуатации необходимо дальнейшее совершенствования их конструкции, а так же наличие нормативных требований классификационных обществ к их проектированию. Одним из основных направлений решения этой проблемы является всесторонний аналитический анализ усилий, возникающих в соответствующих конструктивных элементах автосцепа в различных ситуациях при эксплуатации состава. Такие критические усилия, с точки зрения мак-

симальных значений, могут возникать при отклонении рулей толкача и одновременной качке судов состава при его ходе на волнении.

Каждое судно состава в этом случае совершает шесть видов колебательных движений (перемещений) относительно трёх координатных осей, которые в [1] определяются линейной теорией качки, как некоторого твёрдого недеформируемого тела.

Нахождение усилий в элементах счала толкаемого состава связано с составлением и решением уравнений движения каждого судна при всех этих перемещениях, для чего используется система уравнений Эйлера-Лагранжа

$$\frac{dv}{dt} \cdot \frac{\partial T_i}{\partial \omega_s} + \sum_{\gamma=1}^n \sum_{t=1}^n \gamma_{ts}^y \cdot \frac{\partial T_i}{\partial \omega_y} \cdot \omega_t + \sum_{y=1}^n \varepsilon_s^y \cdot \frac{\partial T_i}{\partial \omega_y} - \frac{\partial T_i}{\partial n_s} = P_s, \quad (1)$$

где T_i – кинетическая энергия системы i -ое судно вода;

n – число степеней свободы;

ω_s – квазискорости системы;

γ_{ts}^y – трёхиндексные символы Больцмана;

ε_s^y – двухиндексные символы Больцмана;

n_s – квазикоординаты;

P_s – обобщённая сила, отнесённая к координате.

Кинетическая энергия толкаемого состава в этом случае находится как сумма кинетической энергии толкача, каждой секции состава и кинетической энергии жидкости, вызванной движением судов состава. Выражение для кинетической энергии каждого судна состава получено на основе уравнения кинетической энергии движения твёрдого тела с учётом особенностей взаимного поведения системы «судов состава – жидкость» [4].

Внешние силы, действующие на суда состава, сведены к следующим категориям:

1 силы, действующие на движители;

2 рулевые силы и моменты;

3 силы и моменты, приложенные к корпусам судов со стороны жидкости и обусловленные её вязкостью и наличием свободной поверхности;

4 возмущённые силы, обусловленные набегающим волнением;

5 демпфирующие и восстанавливающие силы.

С учётом полученных в [4] выражений для кинетической энергии всех категорий внешних сил и соответствующих математических преобразований уравнение (1) применительно ко всем шести видам колебаний конкретного судна, в матричной форме имеет вид [1]

$$A_{i,j} \times B_{i,j} = C_{i,j}, \quad (2)$$

где A – матрица коэффициентов уравнений;

B – матрица перемещений;

C – матрица внешних сил, действующих на судно;

i – тип судна толкаемого состава;

j – вид колебательного движения.

Матрица коэффициентов уравнений имеет вид [5,6,7,8]

$$A_{i,j} = \begin{pmatrix} a_{11} & b_{11} & c_{11} & a_{12} & b_{12} & c_{12} & a_{13} & b_{13} & c_{13} & a_{14} & b_{14} & c_{14} & a_{15} & b_{15} & c_{15} & a_{16} & b_{16} & c_{16} \\ a_{21} & b_{21} & c_{21} & a_{22} & b_{22} & c_{22} & a_{23} & b_{23} & c_{23} & a_{24} & b_{24} & c_{24} & a_{25} & b_{25} & c_{25} & a_{26} & b_{26} & c_{26} \\ a_{31} & b_{31} & c_{31} & a_{32} & b_{32} & c_{32} & a_{33} & b_{33} & c_{33} & a_{34} & b_{34} & c_{34} & a_{35} & b_{35} & c_{35} & a_{36} & b_{36} & c_{36} \\ a_{41} & b_{41} & c_{41} & a_{42} & b_{42} & c_{42} & a_{43} & b_{43} & c_{43} & a_{44} & b_{44} & c_{44} & a_{45} & b_{45} & c_{45} & a_{46} & b_{46} & c_{46} \\ a_{51} & b_{51} & c_{51} & a_{52} & b_{52} & c_{52} & a_{53} & b_{53} & c_{53} & a_{54} & b_{54} & c_{54} & a_{55} & b_{55} & c_{55} & a_{56} & b_{56} & c_{56} \\ a_{61} & b_{61} & c_{61} & a_{62} & b_{62} & c_{62} & a_{63} & b_{63} & c_{63} & a_{64} & b_{64} & c_{64} & a_{65} & b_{65} & c_{65} & a_{66} & b_{66} & c_{66} \end{pmatrix}$$

Матрица перемещений в рассматриваемой системе уравнений, является матрицей неизвестных

$$B_{i,j} = \begin{pmatrix} \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} \\ \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} \\ \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} & \ddot{\xi} & \dot{\eta} & \dot{\zeta} \end{pmatrix}^T,$$

где ξ, η, ζ – перемещения судна вдоль продольной, поперечной, и вертикальной оси;
 $\dot{\xi}, \dot{\eta}, \dot{\zeta}$ – скорости перемещения (первые производные от перемещений) вдоль продольной, вертикальной и поперечной оси i -ого судна в составе соответственно;
 $\ddot{\xi}, \ddot{\eta}, \ddot{\zeta}$ – ускорения при перемещении (вторые производные от перемещений) вдоль продольной, вертикальной и поперечной оси i -ого судна в составе соответственно;
 θ, ψ, φ – угловые перемещения вокруг продольной оси (крен), поперечной оси (дифферент) и вертикальной оси (рысканье) i -ого судна в составе соответственно;
 $\dot{\theta}, \dot{\psi}, \dot{\varphi}$ – скорости угловых перемещений (первые производные от перемещений) вокруг продольной оси, поперечной оси и вертикальной оси i -ого судна в составе соответственно;
 $\ddot{\theta}, \ddot{\psi}, \ddot{\varphi}$ – ускорения от угловых перемещений (вторые производные от перемещений) вокруг продольной оси, поперечной оси и вертикальной оси i -ого судна в составе соответственно.

Матрица внешних сил, действующих на судно включает в себя следующие элементы

$$C_{i,j} = \begin{pmatrix} R_{\xi} & R_{\eta} & R_{\zeta} & M_{\xi} & M_{\eta} & M_{\zeta} \end{pmatrix}^T,$$

где R_{ξ} – продольная составляющая внешних сил;
 R_{η} – поперечная составляющая внешних сил;
 R_{ζ} – вертикальная составляющая внешних сил;
 M_{ξ} – момент внешних сил относительно продольной оси;
 M_{η} – момент внешних сил относительно поперечной оси;
 M_{ζ} – момент внешних сил относительно вертикальной оси.

Систему уравнений (2) можно составить для каждого судна в составе, учитывая в матрице внешних сил не только величины, рекомендуемые [1], но и реакции сил и моменты взаимодействия элементов сцепного устройства двух судов друг на друга.

В общем виде реакцию конструкции сцепного замка представляют в зависимости от перемещения сцепляемых судов состава

$$R_i = \alpha_i \times f(\xi_i, \eta_i, \zeta_i, \theta_i, \varphi_i, \psi_i),$$

где α_i – коэффициент пропорциональности, зависящий от материала, размеров и других конструктивных характеристик сцепного замка.

Для определения усилий в элементах сцепного устройства необходимо проинтегрировать систему уравнений, составленную для состава, вид которой будет зависеть от выбранного автосцепы.

Для примера рассмотрим толкаемый состав из трёх судов: толкача, концевой и головной баржи (секции). Схема усилий, действующих на суда в составе приведена на рисунке 1 [3].

Составим матрицу коэффициентов уравнений для приведённого состава судов, учитывая результаты вычислений инерционных составляющих, выполненных в [1], применяя принцип суперпозиции и зависимость реакций связей от перемещений судна [2]. Таким образом, матрица A для каждого судна в составе примет вид

$$A_i = \begin{pmatrix} a_{11} & b_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{22} & b_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{24} & b_{24} & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{26} & b_{26} & c_{26} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{33} & b_{33} & c_{33} & 0 & 0 & 0 & a_{35} & b_{35} & c_{35} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{42} & b_{42} & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{44} & b_{44} & c_{44} & 0 & 0 & 0 & a_{46} & b_{46} & c_{46} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{53} & b_{53} & c_{53} & 0 & 0 & 0 & a_{55} & b_{55} & c_{55} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{62} & b_{62} & c_{62} & 0 & 0 & 0 & a_{64} & b_{64} & c_{64} & 0 & 0 & 0 & a_{66} & b_{66} & c_{66} \end{pmatrix}$$

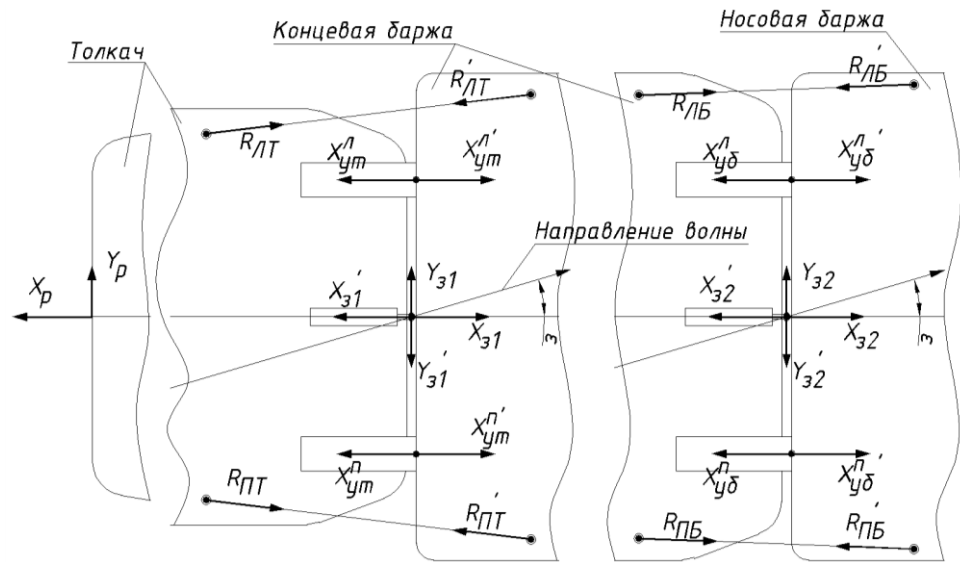


Рис. 1. Схема сил, действующих на состав

Вид матрицы B останется без изменений, но она запишется для каждого судна.

Матрица C будет иметь разный вид для каждого судна

– для толкача

$$C_1 = \begin{pmatrix} R_{e1}^x - x_{yT}^n + x_{31} - x_P - x_{yT}^n + R_{JT}^x + R_{IT}^x \\ R_{e1}^y - y_{31} + y_P + R_{JT}^y - R_{IT}^y \\ R_{e1}^z + R_{JT}^z + R_{IT}^z \\ M_{e1}^x - y_{31}H_{31} + y_P H_P + M_{TT}^x \\ M_{e1}^y + x_{31}H_{31} + x_P H_P - x_{yT}^n H_{yT}^n - x_{yT}^n H_{yT}^n + M_{TT}^y \\ M_{e3}^z - y_{31}L_{31} - y_P L_P + x_{yT}^n b_{yT}^n - x_{yT}^n b_{yT}^n + M_{TT}^z \end{pmatrix},$$

– для кормовой секции

$$C_2 = \begin{pmatrix} R_{62}^x + x_{YT}^l - x_{31} + x_{YT}^n - R_{JT}^x - R_{PT}^x - x_{YB}^l + x_{32} - x_{YB}^n + R_{LB}^x + R_{PB}^x \\ R_{62}^y + y_{31} - y_{32} - R_{JT}^y + R_{PT}^y + R_{LB}^y - R_{PB}^y \\ R_{62}^z - R_{JT}^z - R_{PT}^z + R_{LB}^z + R_{PB}^z \\ M_{62}^x - y_{31}H_{31} + y_{32}H_{32} + M_{TB}^x \\ M_{62}^y - x_{31}H_{31} + x_{32}H_{32} + x_{YT}^l H_{YT}^l - x_{YT}^n H_{YT}^n - x_{YB}^l H_{YB}^l - x_{YB}^n H_{YB}^n + M_{TB}^y \\ M_{62}^z - y_{31}L_{312} - x_{YT}^l b_{YT}^l + x_{YB}^l b_{YB}^l - y_{32}L_{323} - x_{YT}^n b_{YT}^n - x_{YB}^n b_{YB}^n + M_{TB}^z \end{pmatrix},$$

– для головной секции

$$C_3 = \begin{pmatrix} R_{63}^x + x_{YB}^l - x_{32} + x_{YB}^n - R_{LB}^x - R_{PB}^x \\ R_{63}^y + y_{32} - R_{LB}^y + R_{PB}^y \\ R_{63}^z - R_{LB}^z - R_{PB}^z \\ M_{63}^x - y_{31}H_{31} + y_{32}H_{32} + M_{TB}^x \\ M_{63}^y - x_{32}H_{32} + x_{YB}^l H_{YB}^l + x_{YB}^n H_{YB}^n + M_{TB}^y \\ M_{63}^z - x_{YB}^l b_{YB}^l - y_{32}L_{323} + x_{YB}^n b_{YB}^n + M_{TB}^z \end{pmatrix},$$

где $x_{YT}^l, x_{YT}^n, x_{YB}^l, x_{YB}^n$ – усилия в левом (л) и правом (п) упоре толкача (т) и концевой баржи (б);

$x_{31}, x_{32}, y_{31}, y_{32}$ – продольные (х) и поперечные (у) усилия в замке между толкачом и концевой баржей (1), коневой и головной баржей (2);

$R_{JT}^x, R_{LB}^x, R_{PT}^x, R_{PB}^x, R_{JT}^y, R_{LB}^y, R_{PT}^y, R_{PB}^y, R_{JT}^z, R_{LB}^z, R_{PT}^z, R_{PB}^z$ – продольные (х), поперечные (у) и вертикальные (z) усилия в левых (л) и правых (п) вожжевых между толкачом и концевой баржей (т), коневой и головной баржей (б);

x_p, y_p – продольная и поперечная силы от пера руля толкача;

H_{31}, H_{32} – возвышение головок замка толкача (1) и баржи (2) над плоскостью $x_i O_i y_i$;

H_p – вертикальное расстояние от плоскости $x_1 O_1 y_1$ до точки действия силы рулевой силы;

L_p – плечо рулевой силы;

$H_{YT}^l, H_{YT}^n, H_{YB}^l, H_{YB}^n, \bar{H}_{YT}^l, \bar{H}_{YT}^n, \bar{H}_{YB}^l, \bar{H}_{YB}^n$ – плечи точек контактов правых (п) и левых (л) носовых упоров толкача (т) и концевой баржи (Б) с упорными панелями барж относительно оси $O_i y_i$;

$b_{YT}^l, b_{YT}^n, b_{YB}^l, b_{YB}^n, \bar{b}_{YT}^l, \bar{b}_{YT}^n, \bar{b}_{YB}^l, \bar{b}_{YB}^n$ – плечи тех же точек относительно плоскости $O_i z_i$;

$M_{JT}^x, M_{JT}^y, M_{JT}^z$ – моменты нагрузок R_{JT}, R_{PT} счала толкача с концевой баржей относительно координатных осей толкача;

$M_{TB}^x, M_{TB}^y, M_{TB}^z$ – моменты нагрузок $R_{LB}, R_{PB}, R_{LT}, R_{PT}$ счала толкача с концевой баржей и концевой баржи с головной баржей относительно координатных осей концевой баржи;

$\bar{M}_{TB}^x, \bar{M}_{TB}^y, \bar{M}_{TB}^z$ – моменты нагрузок $R_{ЛБ}, R_{ГБ}$ счала концевой и головной баржи относительно координатных осей головной баржи;

L_{31}, L_{333} – отстояние центров контактов поверхности головок замков толкача и концевой баржи от поверхностей $z_i O_i y_i$ толкача и головной баржи;

L_{312}, L_{323} – отстояние центров контактов поверхности головок замков толкача и концевой баржи от плоскости $z_2 O_2 y_2$

Окончательно система уравнений для состава из трёх судов (толкач, концевая и головная баржи) имеет вид

$$\begin{cases} A_1 \times B_1 = C_1 \\ A_2 \times B_2 = C_2 \\ A_3 \times B_3 = C_3 \end{cases}$$

Решая приведённую систему численно методом Рунге-Кутты четвёртого порядка для состава судов, характеристики которых приведены в таблице 1, получены значения усилий, действующие на сцепной замок автосцепы: продольные усилия (Xz_1 – для сцепы толкач – концевая баржа, Xz_2 – для сцепы концевая – носовая баржи) и поперечные усилия (Yz_1 – для сцепы толкач – концевая баржа, Yz_2 – для сцепы концевая – носовая баржи) (см. рисунок 2), а так же на реакции в тросах вожжевых связей: Rl_1 – для левых вожжевых сцепы толкач – концевая баржа, Rl_2 – для левых вожжевых сцепы концевая – носовая баржи; Rp_1 – для правых вожжевых сцепы толкач – концевая баржа, Rp_2 – для правых вожжевых сцепы концевая – носовая баржи (рисунок 3).

Таблица 1

Элементы и характеристики судов состава

Величина	Размерность	Толкач	Концевая секция	Головная секция
Главные размерения				
Длина	м	43,95	114,59	114,53
Ширина	м	11,58	14,07	14,07
Осадка	м	2,14	3,7	3,7
Высота борта	м	3,305	5	5
Коэффициент полноты ватерлинии		0,872	0,999	0,999
Коэффициент полноты мидельшпангоута		0,98	0,999	0,999
Коэффициент полноты водоизмещения		0,649	0,9	0,9
Абсцисса центра тяжести	м	0,1	0,2	0,2
Апplikата центра тяжести	м	2,84	4,25	4,25
Абсцисса центра тяжести ватерлинии	м	0,1	0,2	0,2
Мощность	кВт	1470	–	–
Сцепное устройство				
Жёсткость амортизатора замка	МН/м			
– продольного		30,0		–
		–	30,0	
– поперечного		25,0		–
		–	25,0	
Жёсткость амортизатора счалов вожжевого троса	МН/м	10,0		–
		–	10,0	

Величина	Размер- ность	Толкач	Концевая секция	Головная секция
Координаты замка	м			
– по высоте		3,5	5,1	–
– по ширине		0	0	–
– по длине		22,1	57,3	–

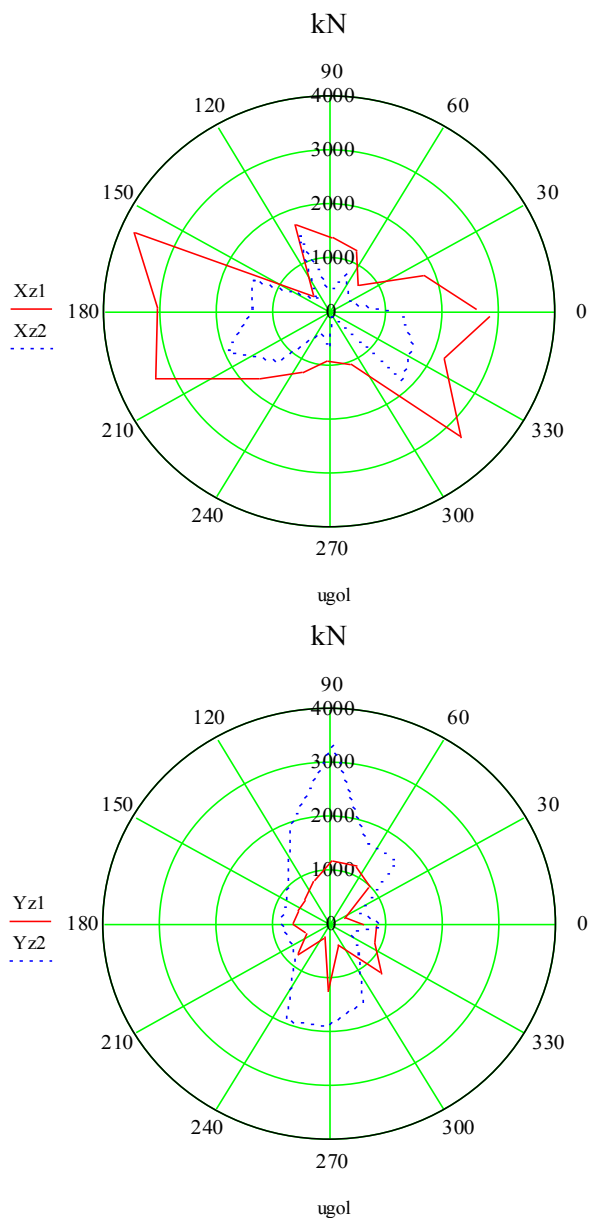


Рис. 2. Зависимость продольных и поперечных усилий в замке автосцепов состава от курсового угла

Приведённые графики показывают значение усилий, возникающих в связях при различных курсовых углах движения судна по отношению направления набегания

волны. Так видно, что наибольшие продольные нагрузки на замок возникают при курсовом угле, близком к встречному волнению. Аналогично, наибольшие поперечные нагрузки на сцепной замок возникают при поперечном волнении. Вожжевые включаются в работу при промежуточных положениях судна, когда замок не воспринимает все усилия из-за своей конструкции (наличия амортизаторов и зазоров).

Полученные результаты могут быть использованы при разработке рекомендаций судоводителю для избежания опасных курсовых углов, с точки зрения целостности сцепного устройства.

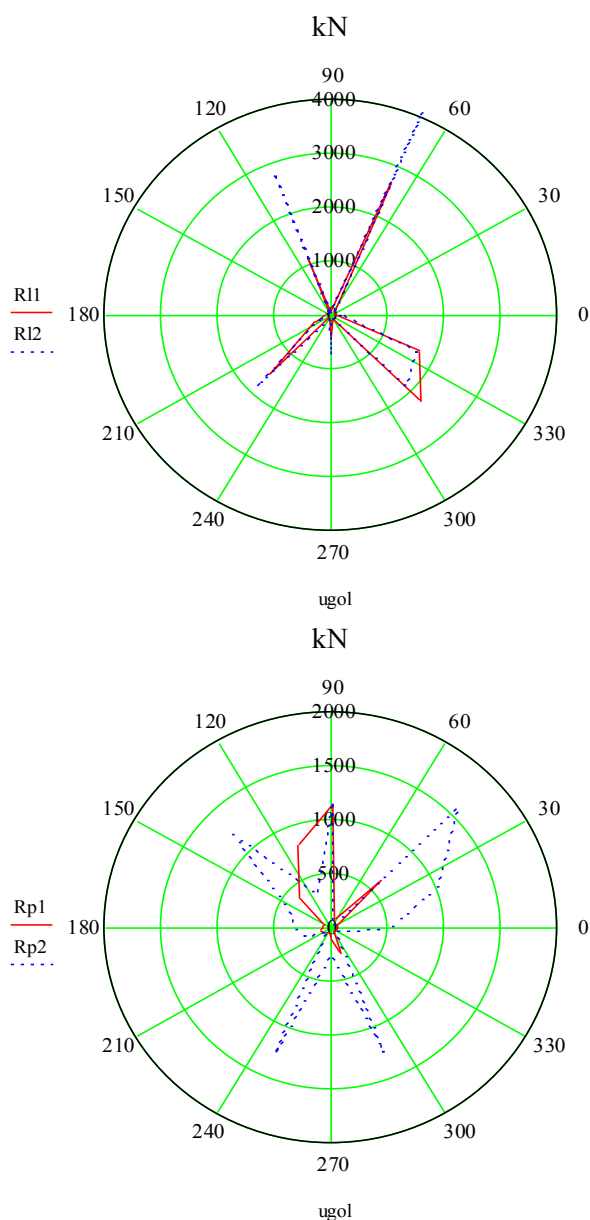


Рис. 3. Зависимость усилий в вожжевых состава от курсового угла

Однако применение линейно теории качки, рассмотренной в настоящей статье, не дает полного описания величины данных усилий, значения которых могут быть уточ-

нены при рассмотрении нелинейной теории качки при движении судно на не регулярном волнении.

Список литературы:

- [1] Благовещенский С.Н. Справочник по статике и динамике корабля. В двух томах. Изд. 2-е перераб. и доп. Том 2. Динамика (качка) корабля. // С.Н. Благовещенский, А.Н. Холодилин / Л. Судостроение – 1975. – 176 с.
- [2] Сторожев Н.Ф. Судовые сцепные устройства. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1978. – 272 с.
- [3] Корректировка требований РРР к сцепным устройствам толкаемых составов внутреннего плавания (разделы 5.7, 5.8 ч III Устройства). Научно-технический отчёт. Н. Новгород – 2000 г. – 135 с.
- [4] Преснов С.В. Метод определения усилий в счалах толкаемых составов смешанного (река-море) плавания / С.В. Преснов. М.: ООО ИПК «Корабел». – 2006. – 89 с.
- [5] Porter R.W. Added-mass, damping and wave-ratio coefficient for heaving ships – line cylinders // Journal of ship research. – 1966. – vol 10, no 4. – p. 223–241.
- [6] Tasai F. On the Damping Force and Added Mass of Ships Heaving and Pitching. // Journal Society of Naval Architects, Japan. – 1959. – No 105. – p. 47–56.
- [7] Tasai F. The «state of the art» of calculations for lateral motions // Report of Seakeeping Committee. Proceedings, vol. 2. 13 ITTC, Berlin, Hamburg. – 1972. – p. 918–942.
- [8] Frand W. The heave damping coefficients of bulbous cylinders, partially immersed in deep water // Journal of Ship Research, vol. 11, No 3, September. – 1967. – p. 151–153.

CALCULATION AND INVESTIGATION OF THE FORCES ARISING IN THE COUPLER OF THE PUSHED CONVOY DURING A WAVE RUN

E.P. Ronnov, S.V. Presnov, U.A. Kochnev

Key words: *pushed convoy, automatic coupler, regular pitching, differential rolling equations.*

The article contains the formulation of the problem and a mathematical model for determining the forces in the coupler of the pushed convoy. The results of test calculations are presented and the analysis of the obtained values is carried out.

Статья поступила в редакцию 09.04.2018 г.

УДК 629.12.001

*М.Э. Францев, кандидат техн. наук, АО «Нептун-Судомонтаж»
141703, г. Долгопрудный, ул. Набережная, 18*

ПРОЕКТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА СРЕДНЕГО СЛОЯ НАДСТРОЙКИ ИЗ КОМПОЗИТОВ ПАССАЖИРСКОГО СУДНА НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ

Ключевые слова: *пассажирское судно на подводных крыльях, надстройка из композитов, легкий средний слой*

В статье описано проектное обоснование выбора материалов nidaplast и divinycell H в качестве материала легкого среднего слоя надстройки из композитов пассажирского судна на подводных крыльях на базе исследования опытных образцов элементов надстройки, изготовленных с использованием этих материалов. Было выполнено сравнительное исследование механических характеристик обоих материалов. Были произведены расчеты массы надстройки с использованием каждого из материалов. Прогнозирование характеристик долговечности сэндвича на базе этих материалов проводилось с использованием методов неразрушающего контроля. В материале nidaplast были обнаружены обширные зоны расслоений. Сделан выбор в пользу материала divinycell H.

Введение

Для обеспечения необходимых характеристик экономичности пассажирское судно на подводных крыльях (далее СПК) должно иметь наилучшее соотношение между его полезной нагрузкой и собственным весом. Наиболее предпочтительным для СПК является сочетание легких сплавов для конструкции собственно корпуса и композиционных материалов для конструкции надстройки (рубки). Использование для изготовления надстройки пассажирского СПК полимерных композитов позволяет обеспечить аэродинамическое совершенство формы надводной части судна в сочетании с необходимой экономией веса конструкции. При этом проектирование судовых корпусных конструкций из композитов при отсутствии нормативных требований классификационных обществ только на основе эксплуатационных нагрузок позволяет существенно снизить массу таких конструкций [1, 2, 11].

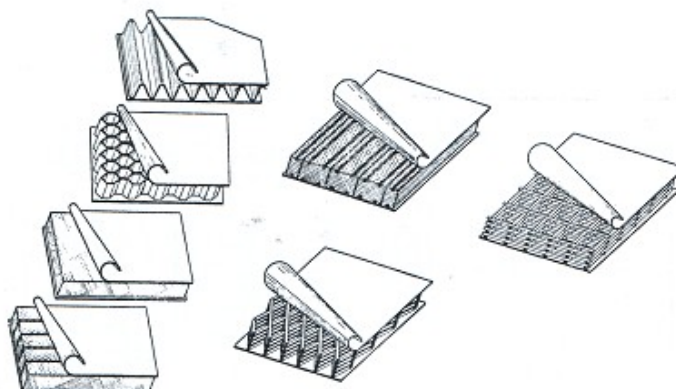


Рис. 1. Элементы трехслойных конструкций с различными видами каркаса среднего слоя

Расчеты показывают, что применение новых композиционных материалов для судовой корпусной конструкции теоретически может обеспечить снижение ее веса как минимум на 30% по отношению к аналогу из легких сплавов, с одновременным снижением расходов жизненного цикла как минимум на 25%. Это может повлечь за собой снижение срока окупаемости затрат на строительство судна до 5–8 лет [1, 2, 11].



Рис. 2. Сотовый наполнитель nidaplast. Внешний вид

Надстройка пассажирского СПК представляет собой объемно прочную многослойную оболочку из композитов. Создание надстройки из композитов является триединой задачей, включающей проектирование собственно конструкции надстройки, проектирование технологии изготовления основных элементов конструкции, а также проектирование композиционного материала на базе определенных исходных материалов и технологий.

В настоящее время широкое применение при изготовлении судовых корпусных конструкций из композитов нашли трехслойные и многослойные конструкции с легковесным наполнителем в середине. Трехслойные конструкции могут изготавливаться из полимерных композиционных материалов, которые могут использоваться как для несущих слоев, так и для наполнителя, а их соединение друг с другом обеспечивается склеиванием.

Трехслойные и многослойные конструкции заняли в судостроении достойное место благодаря присущей им высокой весовой эффективности, прочности, жесткости, а также хорошим тепло- и звукоизолирующим свойствам. По существу, многослойные конструкции из композитов являются многофункциональными. Трехслойные конструкции благодаря отсутствию или сокращению элементов набора позволяют более рационально использовать внутренние объемы помещений, прокладывать электропроводы и некоторые трубопроводы в самом наполнителе, облегчить поддержание чистоты в помещениях. Благодаря отсутствию концентраторов напряжений и исключению возможности появления усталостных трещин многослойные конструкции имеют повышенную надежность.

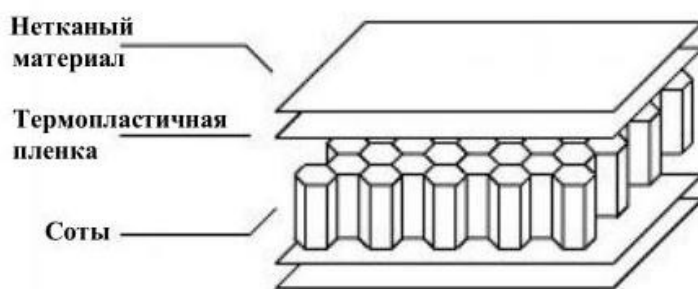


Рис. 3. Конструкция сотового наполнителя nidaplast

Трехслойные и многослойные конструкции применяются, в первую очередь, для снижения массы крупногабаритных элементов судовых корпусных конструкций и повышения их жесткости. По сравнению с традиционными однослойными элемента-

ми корпусной конструкции, трехслойная конструкция обладает повышенной жесткостью и прочностью, что позволяет уменьшить толщину оболочек, панелей и число ребер жесткости, что сопровождается существенным снижением массы конструкции.

Композит надстройки состоит из армирующих материалов, связующего, материала легкого среднего слоя, материалов жесткого на растяжение среднего слоя в местах подкреплений и усилений, а также различных клеевых составов. При этом используются разнообразные виды трехслойных заполнителей, надежность работы которых в составе конструкций из композитов подтверждена опытом успешной эксплуатации изготовленных с их применением конструкций [3–6].

Трехслойные конструкции состоят из двух прочных облицовочных пластин, заполнителя (легкой жесткой сердцевины) и двух адгезионных слоев, связывающих облицовочные пластины с заполнителем. Назначение заполнителя – обеспечивать совместную работу и устойчивость несущих слоев, а также сохранять заданное расстояние между ними. Основные функции заполнителя заключаются в обеспечении устойчивости несущих поверхностей и передаче сдвиговых нагрузок по толщине композита. Для успешного выполнения этих функций заполнитель должен быть легким и жестким. Совместная работа слоев обеспечивается за счет их соединения с заполнителем и передачи последним усилий с одного слоя на другой. Устойчивость слоев обеспечивается, так как заполнитель создает для них практически непрерывную опору и обеспечивает необходимое расстояние между слоями, которое сохраняется за счет достаточной жесткости заполнителя [3–6].



Рис. 4. Вспененный заполнитель divinycell H. Внешний вид

Постановка задачи

По существу, комбинация двух слоев прочного материала, между которыми помещен легкий малонагруженный заполнитель, представляет собой отдельный тип композита, к совместимости компонентов которого предъявляются особо жесткие требования. Решающее влияние на прочность и надежность трехслойных конструкций оказывает качество склеивания несущих слоев с заполнителем, которое, в свою очередь, зависит от качества подготовки склеиваемых поверхностей, качества образующейся клеевой прослойки и соблюдения режимов склеивания [3–6].

Не всегда удается обеспечить хорошую связь между несущими слоями и заполнителем из-за отсутствия клеев с необходимыми свойствами, недостаточно тщательного соблюдения технологического процесса склеивания, а также возникновения на границах раздела слоев многоциклового знакопеременных касательных напряжений тепло-

вой природы. Кроме того, вследствие сравнительно малой толщины слоев более вероятны их повреждения в процессе эксплуатации и, связанная с этим фильтрация воды.

В обычной трехслойной конструкции ее механические характеристики определяются усилиями отрыва среднего слоя от наружных слоев. В конечном итоге, прочность трехслойной панели определяется способностью клеевого соединения противостоять напряжениям, возникающим при нагружении конструкции [3–6].

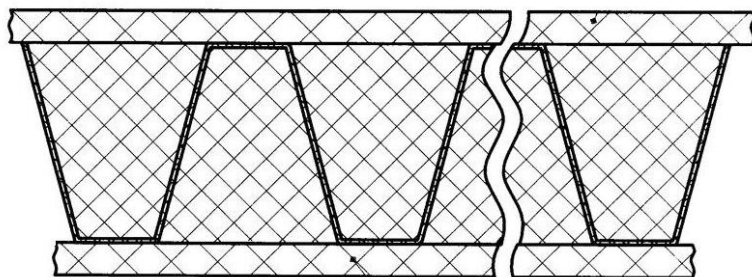


Рис. 5. Схема конструкции элемента надстройки с легким армированным средним слоем на базе заполнителя divinycell H

Однако, как было сказано выше, кроме напряжений от расчетных нагрузок в клеевом соединении судовой надстройки возникают напряжения от температурных деформаций в ее конструктивных элементах. Известно, что коэффициенты температурного расширения у материалов, образующих внешние слои, и материала заполнителя среднего слоя различны. Перепад температур на надстройке судна, эксплуатирующегося в средней полосе России может достигать 80–90°C, (зима до – 40°C, лето + 40°C). А с учетом прогрева поверхностей надстройки от солнечной радиации эта величина может быть еще больше (110–120°C). При этом в клеевом соединении между элементами трехслойной конструкции, имеющими различные температурные деформации, могут развиваться достаточно большие касательные напряжения на границе слоев, имеющие знакопеременный характер, в связи с суточными колебаниями температур.



Рис. 6. Элемент конструкции надстройки с легким армированным средним слоем на базе заполнителя nidaplast

Большое количество циклов изменения напряжений ведут к разрушению клеевого соединения в процессе срока службы конструкции и возникновению внутреннего дефекта типа расслоение. Нарушение конструктивной целостности трехслойной конструкции в районе внутреннего дефекта типа расслоение резко снижает ее механические качества и характеристики долговечности [7–9].



Рис. 7. Элемент конструкции надстройки с легким армированным средним слоем на базе заполнителя divinycell H

Уменьшение срока службы трехслойной конструкции при ее расслоении, кроме всего, связано с возникновением очага коррозии в месте отрыва среднего слоя из-за заполнения этого зазора конденсатом и парами воды. В конструкциях из неметаллических полимерных композитов в таких местах интенсивно развивается осмос под воздействием кислот, получающихся из органических соединений выделяемых полимерами и воды [7–9].

Своевременное обнаружение места расслоения не всегда позволяет полноценно решить проблему, ведь сэндвич мало ремонтпригоден. Зачастую при ремонте речь может идти о частичной реконструкции трехслойной конструкции с полной или частичной заменой двух слоев сэндвича из трех. Поэтому при проектировании многослойной конструкции из композита в настоящее время проводятся мероприятия по полному или частичному формированию каркаса среднего слоя из материала, аналогичного материалу внешних слоев, а средний слой при этом секционируется. Дополнительные клеевые соединения по периметру ячейки сэндвича позволяют увеличить прочность всей конструкции. Каркас среднего слоя служит препятствием для развития температурных деформаций, ведущих к расслоению конструкции. Поэтому секционирование каркасом позволяет минимизировать относительные температурные деформации каркаса и полимера, так как связи имеют почти такую же деформацию, как и пластины внешних слоев.

Известно, что клеевые соединения лучше воспринимают нормальные напряжения, чем касательные, поэтому стойкость клеевых соединений со стенками связей по периметру ячейки у полимера выше, чем стойкость клеевого соединения с пластиной внешней оболочки. Некоторый излишний вес такой конструкции по отношению к классической трехслойной конструкции компенсируется ее долговечностью. Каркас среднего слоя улучшает совместность работы обшивок, тем самым, снижая деформативность конструкции, поэтому многослойные оболочки с каркасом среднего слоя обладают повышенной жесткостью и надежностью.

Применяемые в настоящее время трехслойные судовые конструкции из композитов по роду заполнителя можно классифицировать следующим образом: со сплошным заполнителем из пенопласта, с сотовым заполнителем, с заполнителем в виде коробчатых панелей из полимерных композитов, а также в виде комбинированных панелей, заполненных пенопластом (рис. 1). Несущие слои по своей толщине могут быть как симметричными, так и несимметричными относительно срединной поверхности конструкции.

Решение

При выборе материала легкого среднего слоя разработчик ищет баланс между весовыми характеристиками конструкции, ее технологичностью, а также характеристиками прочности и долговечности конструкции. Как правило, в качестве основных материалов легкого среднего слоя рассматриваются вспененные структуры, а также сотовые заполнители.

Сотовые заполнители представляют собой весьма привлекательный материал с точки зрения сочетания весовых характеристик и характеристик технологичности. Они много лет имеют широкое применение в авиации.

Известно, что сотовый заполнитель существенно повышает изгибную жесткость конструкции. Проиллюстрировать это можно следующим примером. При относительном повышении плотности заполнителя на 6 % жесткость конструкции повышается примерно в 39 раз.

Появление наряду с сотовыми заполнителями из крафт-бумаги, применяемых в авиации, сотовых заполнителей, изготовленных из более дешевых материалов, позволило применять их в судостроении.

Одним из таких материалов является ячеистый заполнитель, имеющий товарное наименование nidaplast (рис. 2). Он представляет собой материал на базе экструдированного полипропилена. Структуру материала составляют шестигранные гексагональные ячейки, имеющие поперечный размер равный 8 мм. Дно и верхняя часть каждого шестигранного элемента сотового наполнителя плотно закрыты термопластичной пленкой, препятствующей попаданию смолы или клея внутрь ячеек. Кроме того, эта пленка обеспечивает соединение торцов сот с нетканым полиэфирным материалом (рис. 3). При создании трехслойной конструкции поверхность из полиэфирного материала приклеивается или приформовывается к жестким внешним слоям сэндвича, обеспечивая высокую адгезию соединения.

Сотовый наполнитель nidaplast прекрасно поддается механической обработке. Он может использоваться в современных технологиях создания композитов, начиная от ручного формования и напыления, кончая вакуумной инфузией и RTM-процессами. Сотовый наполнитель nidaplast обладает достаточно высокими механическими характеристиками, в том числе, низкой плотностью в диапазоне от 80 до 110 кг/м³.

При проектировании надстройки пассажирского СПК из композитов был определен верхний предел плотности материала легкого среднего слоя, равный 80 кг/м³. Поэтому в качестве альтернативных материалов легкого среднего слоя рассматривались сотовый заполнитель nidaplast плотностью 80 кг/м³ и ПВХ пенопласт divinycell H фирмы DIAВ плотностью 80 кг/м³ (рис. 4–5). Их характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики материала легкого среднего слоя

Характеристика	Nidaplast	Divinycell H
Плотность, кг/м ³	80	80
Предел прочности при сжатии, МПа	1,2	1,2
Модуль упругости при сжатии, МПа	30	85
Предел прочности при разрыве, МПа	0,5	2,2
Предел прочности при сдвиге, МПа	0,4	0,68
Модуль упругости при сдвиге, МПа	5	31

Несмотря на то, что по ряду механических характеристик сотовый заполнитель nidaplast существенно уступал ПВХ пенопласту divinycell H, он привлекал несравненно большей технологичностью при изготовлении конструкции, которая в большой

степени определяла стоимость надстройки из композитов пассажирского СПК. Кроме того, применение сотового заполнителя nidaplast позволяло получить массовые характеристики надстройки СПК из композитов, несколько превосходящие вариант применения ПХВ пенопласта divinycell H (табл. 2). Немаловажным было то обстоятельство, что индустриальный партнер имел большой опыт работы именно с сотовым заполнителем nidaplast и рассматривал его применение, как несомненное преимущество.

Таблица 2

**Массовые характеристики надстройки
с различными материалами легкого среднего слоя**

Характеристика	Nidaplast	Divinycell H
Общая площадь надстройки СПК, кв.м	43	43
Толщина легкого среднего слоя, м	0,03	0,03
Объем легкого среднего слоя, куб.м	1,29	1,29
Удельный вес среднего слоя кг/куб.м	80	80
Масса легкого среднего слоя	103,2	103,2
Площадь слоя стеклосетки СЭ-01	43	43
Площадь слоя стеклоткани Т-11-ГВС9	43	43
Количество слоев сетки	1	1
Количество слоев наружной оболочки, ткань	3	3
Количество слоев армирования среднего слоя, ткань	0	1
Количество слоев внутренней оболочки	2	2
Количество слоев ткани, всего	5	6
Удельный вес стеклосетки СЭ-01, кг/кв.м	0,2	0,2
Удельный вес стеклоткани Т11-ГВС9 кг/кв.м	0,385	0,385
Общий вес армирующих материалов, кг	91,375	107,93
Общий вес связующего при условии 50:50, кг	91,375	107,93
Общий вес слоев стеклопластика, кг	182,75	215,86
Общий вес надстройки по слоям, кг	285,95	319,06
Подкрепления, усиления, закладные детали, кг	57,19	63,812
Общий вес надстройки с подкреплениями, кг	343,14	382,872

Однако за пределами рассмотрения оставались характеристики долговечности сэндвича, полученного на основе обоих материалов. Для изучения этого вопроса были изготовлены опытные образцы элементов надстройки из композитов пассажирского СПК с использованием материалов nidaplast и divinycell H с соблюдением всех необходимых технологических требований (рис. 6–7).

После этого опытные образцы были исследованы методами неразрушающего контроля. Исследование базировалось на способе определения технического состояния судовой корпусной конструкции, изготовленной из композитов, защищенном патентом РФ № 2354964 одним из авторов которого является автор данной статьи [12–14]. В процессе исследования было произведено обнаружение в теле конструкции из композитов методами неразрушающего контроля внутренних дефектов типа расслоение (непроклей). При этом было произведено измерение их площади и сравнение ее величины с предельно допустимым значением, принятым по нормативам [10].

В качестве инструмента неразрушающего контроля использовался акустический дефектоскоп ДАМИ-С, реализующий импедансный метод и метод свободных колебаний. В качестве основного метода неразрушающего контроля использовался импедансный амплитудно-фазовый метод звукового и ультразвукового контроля в частот-

ном диапазоне 1...40kHz с применением сухого точечного контакта при двухстороннем доступе [12–14].

В результате исследования было установлено, что в образцах с легким средним слоем, изготовленных из заполнителя nidaplast, имеются обширные зоны расслоений, площадью 400–500 мм² и более. В образцах с легким армированным средним слоем, изготовленных из заполнителя divinycell H, зоны расслоений отсутствовали (рис. 8).

При вскрытии образцов было установлено, что расслоение находится между слоем нетканого материала, качественно приклеенным к внешнему слою сэндвича, и пленкой, отделяющей от него полипропиленовые соты. Таким образом, появление расслоения, по-видимому, явилось следствием возникновения касательных напряжений при полимеризации клея (полиэфирной смолы), приклеивающего нетканый материал к внешним оболочкам сэндвича, а возможно, и следствием производственного брака при изготовлении материала nidaplast.

Однако наличие таких дефектов было неприемлемо по условиям обеспечения прочности надстройки из композитов пассажирского СПК. Поэтому было принято решение использовать в качестве материала легкого среднего слоя надстройки ПВХ пенопласт divinycell H.

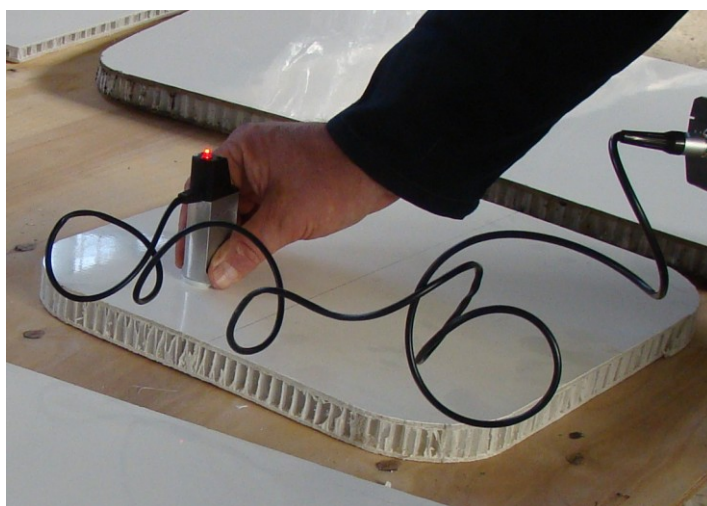


Рис. 8. Выявление дефекта типа расслоение (непроклей) в элементе конструкции надстройки с легким армированным средним слоем на базе заполнителя nidaplast.

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что при всей привлекательности применения сотового заполнителя nidaplast для трехслойных и многослойных судовых корпусных конструкций из композитов, его использование сопряжено с рисками образования внутренних дефектов типа расслоение достаточно большой площади на границе раздела слоев этого материала. Эти внутренние дефекты типа расслоение не могут быть устранены впоследствии даже в случае их обнаружения. Наличие таких дефектов существенно снижает характеристики прочности и долговечности трехслойных и многослойных конструкций из композитов, к которым предъявляются требования повышенной весовой эффективности. Поэтому сотовый заполнитель nidaplast может быть рекомендован исключительно к применению в малоответственных судовых корпусных конструкциях из композитов, для которых требования к прочности и долговечности снижены.

Статья подготовлена по результатам выполнения прикладных научных исследований, проводимых Московским государственным техническим университетом им.

Н.Э. Баумана по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.577.21.0103 с Министерством образования и науки Российской Федерации. (Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0103) в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы». Автор статьи руководил указанной работой.

Список литературы

- [1] Францев М.Э. Новый облик судов на подводных крыльях для рек Сибири и Дальнего Востока. / Францев М.Э. Чуднов И.В. // Судостроение, № 2, 2014, стр. 18–22.
- [2] Францев М.Э. Создание надстройки из композитов пассажирского судна на подводных крыльях с позиций обеспечения ее весовой эффективности и характеристик долговечности. / Францев М.Э. // Сборник трудов научно-технической конференции по строительной механике корабля, посвященной памяти академика Ю.А. Шиманского, 2016, СПб, стр. 106–107.
- [3] Александров А.Я. Об определении оптимальных параметров элементов авиационных конструкций типа трехслойных пластин и пологих оболочек с сотовым наполнителем. – / Александров А.Я. Наумова М.И. // В кн. Актуальные проблемы авиационной науки и техники. М. Машиностроение, 1984, с. 4–14.
- [4] Душин А.М. Определение минимального веса трехслойной конструкции. – / Душин А.М., Ивонин Ю.Н. // В сб. Авиационные материалы. М., 1984, с. 89–100.
- [5] Кузьмин М.А. Расчеты на прочность элементов многослойных композитных конструкций / Кузьмин М.А., Лебедев Д.Л., Попов Б.Г.; под ред. Данилова В.Л. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – 341 с.
- [6] Лизин В.Т. Проектирование тонкостенных конструкций. / Лизин В.Т., Пяткин В.А. М: Машиностроение, – 2003. – 447 с.
- [7] Межслойные эффекты в композитных материалах / под ред. Пэйгано Н. пер. с англ. под ред. Ю.М. Тарнопольского, М, Мир, 1993, 347 с.
- [8] Бохоева Л.А. Особенности расчёта на прочность элементов конструкций из изотропных и композиционных материалов с допустимыми дефектами / Бохоева Л. А. Улан-Удэ, 2007, 192 с.
- [9] Францев М.Э. Определение степени утраты прочностных свойств и оценка возможности разрушения судовой корпусной конструкции из композита в зоне развития эксплуатационного дефекта типа расслоение. / Францев М.Э. // Сборник трудов Всероссийской научно-технической конференции по строительной механике корабля, посвященной памяти академика Ю.А. Шиманского, 2013, СПб, стр. 124–126.
- [10] ОСТ 5.9102-87 «Стеклопластики конструкционные для судостроения. Методы неразрушающего контроля», ЦНИИТС, Л., 1987.
- [11] Greene E. Marine composites. Second Edition. Eric Greene Associates, Inc., Annapolis, 1999.
- [12] Frantsev M.E. Nondestructive Testing of Ship Hulls Made of Composite Materials Using Acoustic Methods. Russian Journal of Nondestructive Testing, 2013, Vol. 49, No. 1, pp. 1–7.
- [13] Frantsev M.E. The mode used for the estimation of the technical condition for the boat hull from composite materials for exploitation, 10-th European Conference on Non-Destructive Testing, Moscow, June 7–11, 2010, Abstracts, part 2, p. 64.
- [14] Frantsev M.E. The project's recommendation for definition of the most loaded and vulnerable elements of boat hull from composites which based on results of survey by methods of non-destructive testing., World Maritime Technology Conference, Saint-Petersburg 29 May – 1 June, 2012, Abstracts of papers, p. 31.

PROJECT JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF THE MATERIAL OF THE MIDDLE LAYER OF THE SUPERSTRUCTURE MADE UP OF THE COMPOSITES OF A PASSENGER HYDROFOIL VESSEL

M.E. Frantsev

Key words: *passenger hydrofoil vessel, composite superstructure, light middle layer.*

The article describes the design rationale for the selection of Nidaplast and Divinycell H materials as a material for the light middle layer of the superstructure made up of composite of a passenger hydrofoil vessel based on the research of prototype of superstructure elements manufactured using these materials. A comparative study of the mechanical characteristics of both materials was carried out. The mass of the superstructure was calculated using each of the materials. Forecasting characteristics of the durability of sandwich based on these materials was carried out using non-destructive testing methods. Extensive zones of delamination were found in the material Nidaplast. This determined the choice in favor of the material Divinycell H.

Статья поступила в редакцию 18.04.2018 г.

УДК 629.12

В.В. Шабаров, к.т.н., руководитель научно-исследовательского отдела
ООО СК «Аэроход»

Д.Т. Чекарнев, профессор ФГАОУ ВО «ННГУ им. Н.И. Лобачевского»

А.В. Туманин, инженер-конструктор ООО СК «Аэроход»
603003, г. Нижний Новгород, ул. Заводской парк, 21, оф. 301

Ф.С. Пеплин, аспирант ФГАОУ ВО «ННГУ им. Н.И. Лобачевского»
603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СИЛ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ СУДНА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ НА КРЕЙСЕРСКОМ РЕЖИМЕ ДВИЖЕНИЯ

Ключевые слова: судно на воздушной подушке, СВП, демпфирование, воздушная подушка, вычислительная гидродинамика

В статье приведена постановка задачи и результаты расчетов демпфирующих усилий, возникающих при вертикальных колебаниях судна на воздушной подушке (СВП). Демпфирующее давление в воздушной подушке (ВП) определяется как разность давления в ВП при вертикальном движении судна и давления, обусловленного втекающим и вытекающим воздухом из ВП. Показано, что учет демпфирующих сил при моделировании динамики движения СВП в условиях волнения приводит к значительному снижению значений расчетных перегрузок и размахов вертикальной и килевой качки.

Введение

При создании новых скоростных судов, и, в частности, судов на воздушной подушке (СВП), исключительную для качества проектирования роль играет степень достоверности математической модели динамики движения создаваемого судна. Достоверная математическая модель динамики движения позволяет не только надежно прогнозировать скоростные характеристики, устойчивость на курсе, управляемость, мореходные качества, а для амфибийных СВП и характеристики проходимости, но и надежно определять действующие на судно нагрузки, в том числе в особых случаях движения. Достоверная информация о внешних нагрузках позволяет качественно сформировать конструктивно-силовую схему корпуса и основных элементов судна, провести весовую оптимизацию и, тем самым, поднять экономические и эксплуатационные показатели создаваемого скоростного судна.

Известные подходы к математическому моделированию динамики судов на воздушной подушке можно условно разделить на две группы. К первой группе можно отнести подходы, напрямую использующие для расчета динамики СВП сеточные методы [1, 2]. Здесь расчет динамики движения должен осуществляться на подвижных сетках совместно с решением аэрогидродинамических задач и контактных задач по определению мгновенного давления воздуха в воздушной подушке, мгновенных аэрогидродинамических сил от внешнего обтекания судна и контактных сил на гибком ограждении. Демпфирующие силы, возникающие в воздушной подушке (ВП) при вертикальном движении судна, вычисляются совместно с позиционными силами давления в ВП и специально не выделяются. Отметим, что решение задач динамики СВП с помощью таких моделей связано с серьезными проблемами: низкой устойчивостью счета в реальных задачах динамики СВП, а также огромными затратами вычислительных и временных ресурсов на решение подобных задач. Поэтому в настоящее время подходы, базирующиеся на прямом использовании сеточных методов, находятся в стадии становления и используются только для решения упрощенных модельных задач динамики движения СВП.

В практике проектирования находит применение вторая группа подходов. Математическая сторона вопроса при применении этих методов сводится к решению задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений [3, 4]. Силы, действующие на судно от воздушной подушки и от контактов скег или же гибкого ограждения с опорной поверхностью, находят для каждого момента времени по упрощенным математическим моделям [5]. Для определения давления в зоне ВП используется уравнение изменения массы воздуха в ВП, для определения гидродинамических сил на гибком ограждении может применяться метод плоских поперечных сечений [6] и теория быстрого погружения тел в воду [6, 7]. Расчет контактных сил при обжатии гибких ограждений баллонетного типа – замкнутых пневматических оболочек – осуществляется на основе закона сохранения массы закаченного в оболочку воздуха. Для реализации этих подходов не требуется мощных ресурсов вычислительной техники: расчеты вполне могут быть проведены даже на ноутбуке. С использованием указанной методологии было проведено моделирование динамики движения ряда проектов амфибийных СВП с гибким ограждением баллонетного типа. Результаты математического моделирования при движении на волнении и пересеченной местности сопоставлялись с результатами натурных испытаний этих СВП. Рассогласование результатов расчетов и испытаний по вертикальным перегрузкам оказалось весьма значительным и достигало 300 %; расчетные перегрузки были выше экспериментальных. Представляется, что одной из причин такого рассогласования является принимаемое в математической модели представление сил избыточного давления в ВП, которые при фиксированном зазоре зависят только от баланса втекающего и вытекающего из ВП воздуха. Влиянием на формирование сил в воздушной подушке вертикального движения и углового движения СВП пренебрегается, т. е. демпфирующие силы в математической модели отсутствуют.

Целью настоящей работы является определение демпфирующих сил в воздушной подушке и оценка их влияния на уровень действующих вертикальных перегрузок при ходе амфибийного СВП на волнении и пересеченной местности.

1. Определение давления в воздушной подушке без учета вертикального движения судна

Уравнение для давления в i -ой секции ВП имеет вид

$$\frac{dp_i}{dt} = \frac{np_{\text{атм}}}{W_i} \left(Q_{\text{вент}}^i - Q_{\text{ист}}^i - Q_{\text{изним}}^{ij} - \frac{dW_i}{dt} \right), \quad (1)$$

где p_i – избыточное давление в i -ой секции ВП, Па;

W_i – текущий объем i -ой секции, м³;

$Q_{\text{вент}}^i$ – объем вытекающего в единицу времени воздуха в i -ую секцию ВП, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{\text{ист}}^i$ – объем вытекающего в атмосферу из i -ой секции ВП воздуха в единицу времени
($Q_{\text{ист}}^i > 0$, если воздух уходит из i -ой секции в j -ую), $\text{м}^3/\text{с}$;

n – показатель политропы;

$p_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, Па.

Уравнение (1) получено из условия изменения массы воздуха, вытекающего и вытекающего из секции ВП. В этом уравнении не учитываются давления, возникающие вследствие движения с некоторой вертикальной скоростью секции ВП.

2. Алгоритм расчета демпфирующих сил с применением CFD технологий

Для определения мгновенных демпфирующих сил, действующих на СВП при его движении с некоторой вертикальной скоростью $\dot{H}$, применим принцип обращения движения. Принцип обращения движения справедлив только в стационарных задачах аэрогидродинамики и именно в стационарной постановке с использованием принципа обращения движения построена известная методология определения демпфирующих сил и моментов в задачах динамики самолетов. Стационарная постановка предполагает неизменность кинематических параметров движения (линейных и угловых скоростей) объекта бесконечно долго при фиксированном мгновенном положении объекта и опорной поверхности.

Применим принцип обращения движения к СВП, имеющему только вертикальную скорость $\dot{H}$. Полагая вертикальную скорость СВП переносной скоростью, из теоремы сложения скоростей следует, что частицы воздуха, лежащие на подстилающей поверхности, приобретают относительную скорость $(-\dot{H})$. Относительная скорость СВП обращается в 0.

Задача решается с использованием программного комплекса ANSYS CFX. Расчетная область показана на рис. 1.

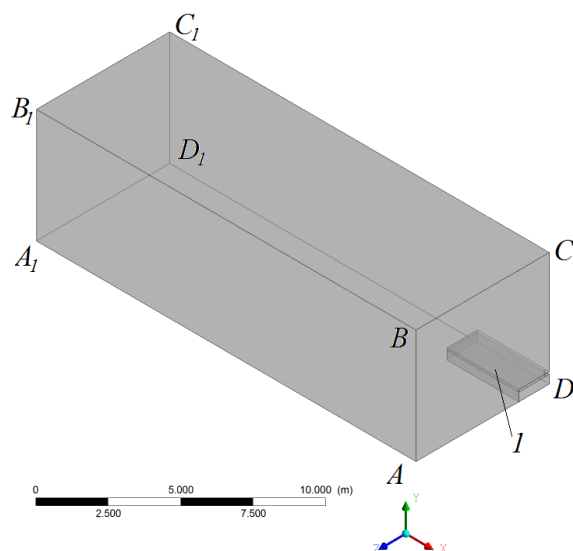


Рис. 1. Расчетная область задачи по определению демпфирующих сил, возникающих при вертикальном движении СВП

Граница AA_1D_1D – входная (inlet). На этой границе задается нормальная скорость, по величине равная вертикальной скорости СВП, но направленная в противоположную сторону. На границах AA_1B_1B , $A_1B_1C_1D_1$ и BCC_1B_1 задается условие равенства нулю избыточного давления p . Границы AA_1B_1B и $A_1B_1C_1D_1$ открытые (opening), граница BCC_1B_1 – выходная (outlet). На границах $ABCD$ и CDD_1C_1 задаются условия симметрии, обеспечивающие естественные условия Неймана на этих границах и запрещающие перетекание среды через них.

Почти на всех поверхностях модели 1 секции воздушной подушки (см. рис. 2), ставятся условия непротекания и прилипания (wall). Исключением являются поверхности 3 и 4, с помощью которых моделируется вход воздуха в нагнетатель (поверхность 3) и выход воздуха из нагнетателя в ВП (поверхность 4). Граница, которой является поверхность 3 является выходной (outlet); на этой границе задается массовый расход воздуха, забираемого вентилятором из внешней области в область ВП. Граница, которой является поверхность 4 – входная (inlet) с граничным условием доставляемого вентилятором в ВП массового расхода воздуха, равного по величине расходу воздуха через поверхность 3. Истечение из секции ВП во внешнюю относительно ВП область происходит через поверхности FGG_1F_1 и FEE_1F_1 .

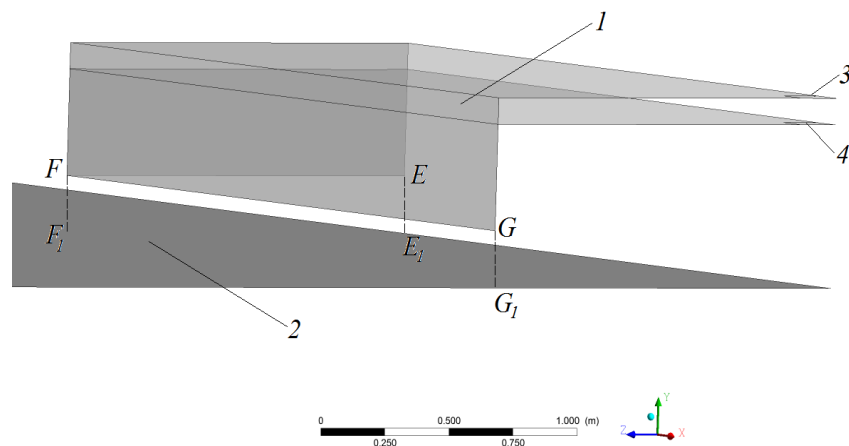


Рис. 2. Модель секции воздушной подушки

Воздух считается несжимаемой жидкостью. Течение воздуха принимается турбулентным. Используется составная SST модель турбулентности Ментера.

3. Результаты расчета демпфирующих сил, их представление и учет в задачах динамики СВП

Перед систематическими расчетами демпфирующих сил были проведены численные исследования влияния числа разбиений в сеточной модели на результаты определения демпфирующих сил. Проведено также численное исследование влияния относительных размеров нагнетателя (относительных размеров поверхностей 3 и 4) на изменение демпфирующих сил.

Расчеты проводились для секции ВП с длиной 3,5 м и шириной 1,5 м.

Влияние числа разбиений в сеточной модели на среднее давление в ВП при различных вертикальных скоростях ВП представлено в табл. 1. Как следует из табл. 1 увеличение числа узлов в четыре раза меняет результат по давлениям в ВП приблизительно на 1%.

Таблица 1

**Среднее давление в ВП для различного числа узлов
в сеточной модели при различных вертикальных скоростях $\dot{H}$
воздушной подушки**

h , м	$\frac{Q_{in}}{S_{ВП}}$, м/с	$\dot{H}$, м/с	p_{cp} ($\approx 1 \cdot 10^6$ узлов), Н/м ²	p_{cp} ($\approx 4 \cdot 10^6$ узлов), Н/м ²
0,0025	0,2	0	1059,74	1071
0,0025	0,2	-0,05	1664,8	1681,68
0,0025	0,2	-0,075	2013,96	2034,36
0,0025	0,2	0,05	604,86	607,754
0,0025	-0,2	0,075	418,78	422,687

Варьирование в разумных пределах относительных размеров нагнетателя также мало сказывается на результате. При изменении относительных площадей входа-выхода нагнетателя в два раза на увеличение и в два раза на уменьшение относительно исходного размера средние давления в ВП меняются не более чем на 3% во всем диапазоне вертикальных скоростей.

Расчеты проводились при различных расходах воздуха в ВП и различных вертикальных скоростях ВП, в том числе и нулевых. Кроме того, варьировалась и площадь истечения воздуха из ВП, причем площадь истечения менялась не только изменением зазора по всему периметру ВП, но и путем перекрытия части площади истечения воздуха из ВП.

Результаты обрабатывались следующим образом. Для каждого режима расхода воздуха в ВП, вертикальной скорости $\dot{H}$, величины и конфигурации площади истечения определялись величины приращения среднего давления в ВП относительно величины среднего давления в воздушной подушке в рассматриваемой конфигурации СВП, но при отсутствии вертикальной скорости: $\Delta p_{cp} = p_{cp} - p_{cp}(\dot{H} = 0)$. Систематические расчеты показали, что при фиксированных конфигурации истечения воздуха из ВП и вертикальной скорости СВП величина Δp_{cp} существенным образом зависит от расхода воздуха в ВП. От расхода воздуха в ВП зависит и величина $p_{cp}(\dot{H} = 0)$. Можно предположить, что при мгновенной относительно неподвижного экрана конфигурации СВП, избыточное давление в ВП на основании интеграла Бернулли пропорционально квадрату расхода воздуха в подушку, обусловленного работой вентилятора, а именно величине $\rho \left(\frac{Q_{in}}{S_{ВП}} \right)^2$.

Тогда, при наличии вертикальной скорости СВП, избыточное давление в ВП должно быть пропорционально величине $\rho \left(\frac{Q_{in}}{S_{ВП}} - \dot{H} \right)^2$, где под $\dot{H}$ понимается абсолютная вертикальная скорость СВП. Тогда приращение давления в ВП, обусловленное наличием вертикальной скорости СВП $\dot{H}$, должно для данной конфигурации СВП быть пропорциональным величине $\rho \left(-\frac{Q_{in}}{S_{ВП}} \dot{H} + 0.5 \dot{H}^2 \right)$.

Иными словами, следует ожидать, что безразмерная величина

$$D = \frac{\Delta p_{cp}}{\rho \left(-\frac{Q_{in}}{S_{ВП}} \dot{H} + 0.5 \dot{H}^2 \right)},$$

D – коэффициент демпфирования, зависит только от мгновенной конфигурации СВП, но не зависит от вертикальной скорости СВП и расхода воздуха, нагнетаемого вентилятором в ВП.

Результаты численных расчетов, подтверждающие фактическое отсутствие зависимости безразмерного коэффициента демпфирования от $\dot{H}$ и Q_m для двух мгновенных положений СВП относительно подстилающей поверхности, приведены в табл. 2. Незначительная разница определения коэффициента демпфирования D при изменении $\dot{H}$ и Q_m для фиксированной конфигурации СВП объясняется погрешностями численного решения системы уравнений в частных производных для задачи рис. 1, включающей уравнения неразрывности, количества движения и уравнения модели турбулентности.

Таблица 2

Результаты определения безразмерного коэффициента демпфирования для различных конфигураций СВП при различных вертикальных скоростях и расходах воздуха, подаваемого вентилятором в ВП

$h, \text{ м}$	$\frac{Q_{in}}{S_{ВП}}, \text{ м/с}$	$\dot{H}, \text{ м/с}$	$p_{cp}, \text{ Н/м}^2$	$\Delta p_{cp}, \text{ Н/м}^2$	$C = \rho \left(-\frac{Q_{in}}{S_{ВП}} \dot{H} + 0.5 \dot{H}^2 \right) \text{ Н/м}^2$	$D = \frac{1}{C} \Delta p_{cp}$
0,001	0,2	0	1559,81	–	–	–
0,001	0,2	–0,05	2416,97	857,16	0,01333125	64297
0,001	0,2	0,05	889,199	–670,611	–0,0103688	64676
0,001	0,2	0,075	618,827	–940,983	–0,01444219	65155
0,001	0,1	0	351,92	–	–	–
0,001	0,1	–0,05	832,90	480,98	0,00740625	64943
0,001	0,1	0,05	67,02	–284,9	–0,00444375	64112
0,0075	0,2	0	421,475	–	–	–
0,0075	0,2	–0,05	661,59	240,115	0,01333125	18011
0,0075	0,2	0,05	238,111	–183,364	–0,0103688	17684
0,0075	0,2	0,075	165,588	–255,887	–0,01444219	17718
0,0075	0,3	0	1444,03	–	–	–
0,0075	0,3	–0,05	1788,0	343,97	0,0192563	17863
0,0075	0,3	0,05	1159,80	–284,23	–0,0162938	17444

В целом, результаты расчетов коэффициента демпфирования D для различных положений СВП относительно подстилающей поверхности и различных способов формирования площади истечения из ВП представлены на рис. 3. На диаграмме рис. 3 безразмерный коэффициент демпфирования представлен в виде функции безразмерной площади истечения, определяемой как отношение площади истечения к площади ВП.

Обращает на себя внимание резкий рост коэффициента демпфирования с уменьшением площади истечения из ВП. Это объясняется тем, что при приближении судна

к экрану продольное и поперечное растекание воздуха между подушкой и экраном уменьшается, вследствие чего демпфирующая сила возрастает.

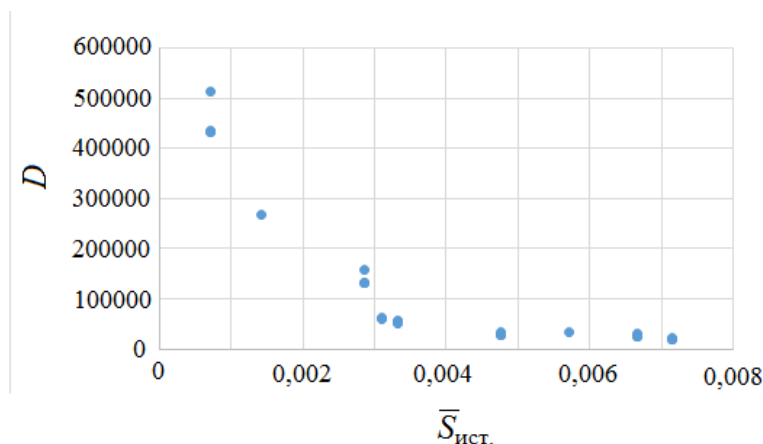


Рис. 3. Зависимость безразмерного коэффициента демпфирования D от безразмерной площади истечения воздуха $\bar{S}_{ист.}$ из воздушной подушки

4. Влияние демпфирующих сил на динамику СВП в условиях волнения

Полученные выше поправки к давлению в ВП, обусловленные вертикальным движением судна, должны быть приняты во внимание при вычислении действующих на корпус сил.

Для оценки влияния демпфирующих сил на динамику движения судна в условиях волнения была проведена серия вычислительных экспериментов по методике [4]. Давление в секциях воздушной подушки определялось по формуле (1) с использованием расходно-напорной характеристики нагнетательного комплекса. Сила, действующая на корпус судна от воздушной подушки, равна $(p + \Delta p_{cp})S_{ВП}$, где p – давление, полученное по формуле (1), Δp_{cp} – демпфирующее давление, $S_{ВП}$ – площадь секции ВП.

На рис. 4 и 5 представлены результаты расчетов динамики движения СВП проекта А20 водоизмещением 6 тонн на регулярной встречной волне высотой 0,2 м и длиной от 3 до 15 метров. Скорость движения судна в каждом расчете фиксирована и составляет 25 км/ч или 50 км/ч. Из сравнения результатов можно заключить, что учет демпфирующих сил значительно снижает величину вертикальных перегрузок, а также размахи вертикальной и килевой качки.

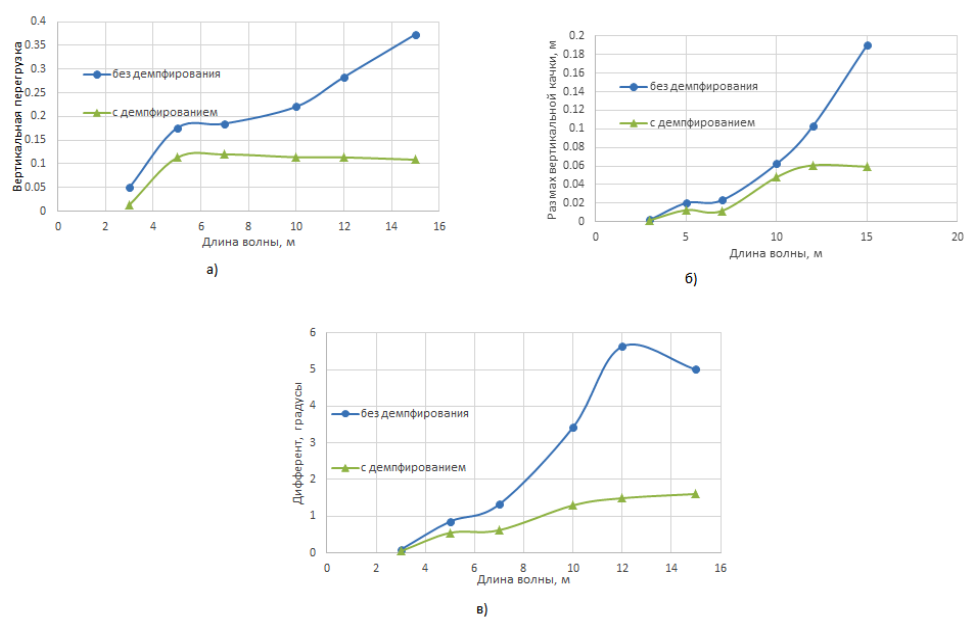


Рис. 4. Влияние демпфирования на динамику СВП на скорости 25 км/ч:

а) вертикальные перегрузки в центре масс, б) размах вертикальной качки, в) дифферент

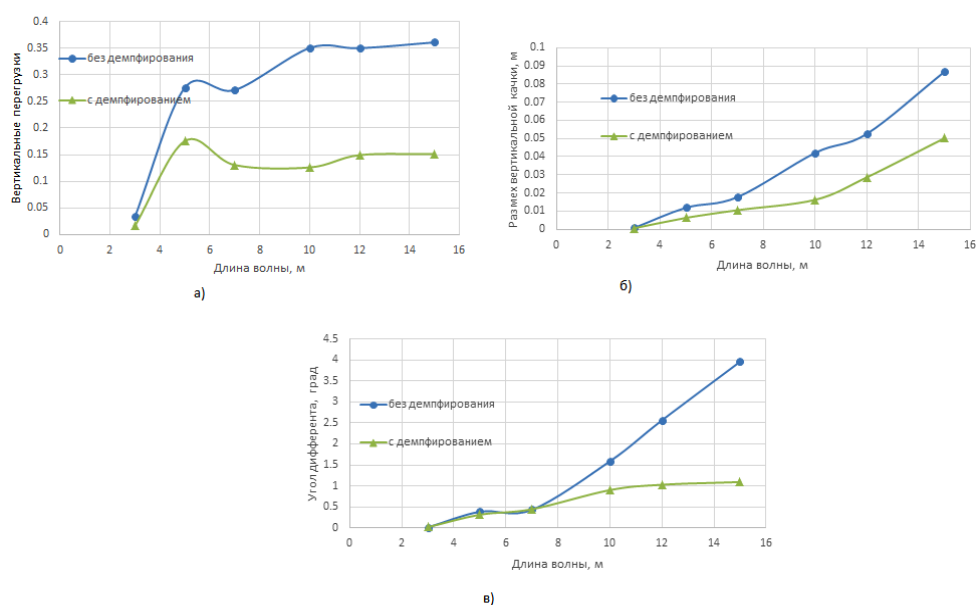


Рис. 5. Влияние демпфирования на динамику СВП на скорости 50 км/ч:

а) вертикальные перегрузки в центре масс, б) размах вертикальной качки, в) дифферент

Крайне важно отметить, что результаты моделирования динамики движения на волне без учета демпфирующих сил в ВП дают значения вертикальных перегрузок, превышающие вертикальные перегрузки в натурных испытаниях. Эти превышения в

зависимости от скорости хода СВП проекта А20, длины и высоты волны составляют порядка 50...300%. Учет же демпфирующих сил позволяет значительно снизить перегрузки, приблизив их к значениям, наблюдаемым в испытаниях.

Вертикальные перегрузки в центре масс пропорциональны амплитудам вертикальной качки. При учете демпфирующих сил эти амплитуды падают, причем их падение тем больше, чем больше демпфирующие силы.

Заключение

В настоящей работе исследованы демпфирующие давления, обусловленные вертикальным движением СВП. Задача решена методом конечных объемов средствами программного пакета Ansys CFX. При постановке задачи был задействован принцип обращенного движения. Результаты моделирования представлены в виде зависимости безразмерного коэффициента демпфирования от безразмерной площади истечения.

Показано, что учет демпфирующих давлений оказывает значительное влияние на результаты моделирования динамики судна: вертикальные перегрузки, а также размахи килевой и вертикальной качки значительно уменьшаются и результаты математического моделирования становятся значительно ближе к вертикальным перегрузкам, полученным в натурных испытаниях.

Приведенные в работе результаты могут быть использованы в расчетах ходкости, мореходности, маневренности, управляемости, проходимости и остойчивости СВП, выполняемых по основанным на законе изменения массы воздуха в ВП методикам, например, [3] или [4].

Список литературы:

- [1] Kring D.C. et al. Simulation of maneuvering in waves for a high-speed surface effect ship //Proc. 11th International Conference on Fast Sea Transportation, FAST. – 2011.
- [2] Maki K.J. et al. Numerical investigation of the components of calm-water resistance of a surface-effect ship // Ocean Engineering. – 2013. – Т. 72. – С. 375–385.
- [3] Connell B.S. H. et al. Single and multi-body surface effect ship simulation for T-Craft design evaluation //Proceedings of 11th international conference on fast sea transportation. – 2011.
- [4] Eremeyev V.O., Peplin F.S., Tumanin A.V. Mathematical Model of the dynamics of an Air Cushion Vehicle with ballonet type skirt on water. Procedia Engineering. 206 (2017) 354–359.
- [5] Логвинович Г.В. Гидродинамика течений со свободными границами. Киев. Наукова думка, 1969.
- [6] Wagner H. Über die Landung von Seeflugzeugen //Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt. – 1931. – Т. 22. – №1.
- [7] Wagner H. Über Stoß - und Gleitvorgänge an der Oberfläche von Flüssigkeiten //ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics/Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik. – 1932. – Т. 12. – №4. – С. 193–215.
- [8] Туманин А.В., Шабаров В.В. Методика численного моделирования динамики движения амфибийного судна на воздушной подушке с гибким ограждением баллонетного типа. Сборник докладов X международной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2014», Сентябрь 5-6, 2014, Часть II – Москва, 2014. – С. 15–20.

DETERMINATION OF DAMPING FORCES OF AIR CUSHION VEHICLES IN VERTICAL MOTION

V.V. Shabarov, D.T. Chekmarev, A.V. Tumanin, F.S. Peplin

Key words: Air cushion vehicle, ACV, Surface Effect Ship, SES, Computational Fluid Dynamics, CFD, damping, air cushion, pressure patch.

The present paper deals with damping pressures associated with vertical motions of air cushion vehicles. A damping pressure is defined as a difference between an actual air cushion pressure of a vehicle in a vertical motion and a pressure inside a vehicle's air cushion calculated by a simple mass balance law. The paper presents the problem statement and the simulation results. It is demonstrated that taking into account this kind of forces leads to significant decrease in heave and pitch as well as vertical accelerations in head sea conditions.

Статья поступила в редакцию 10.04.2018 г.

Раздел II

**Финансовые и учетно-аналитические
проблемы современной экономики**

Section II

***Financial and accounting-analytical
problems of the modern economy***

УДК [311.312:351.07|.08]:338.24(470)

С.В. Бастрыкин, проректор по финансово-экономическим вопросам, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «АГТУ»

Е.Д. Рудикова, магистрант ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»
414025, г. Астрахань, ул. Татищева, 16.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРГАНОВ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ

Ключевые слова: экономическая безопасность, статистика, официальная статистическая информация, качество информации.

Объектом исследования является статистическая информация, предоставляемая Федеральной службой государственной статистики, а также её роль в обеспечении экономической безопасности территории. Проведен комплексный анализ формирования и обработки статистической информации региональными органами Росстата. В результате анализа раскрыты основные проблемные моменты, которые возникают при сборе, обработке и использовании статистических сведений. Проблемные моменты систематизированы в четыре группы в зависимости от причин их возникновения: проблемы, связанные с непредставлением или предоставлением недостоверной информации респондентами по статистическим сборам; проблемы, связанные с некорректными запросами органов статистического наблюдения; проблемы, связанные с возникновением ошибок на этапе обработки информации и её интерпретации; проблемы, связанные с информационными угрозами. Разработаны и объединены в схему по группам возникновения проблем основные мероприятия по нейтрализации угроз, вызванных неточностями и недостаточным качеством официальной статистической информации. Сделан вывод о непосредственном влиянии достоверности и оперативности предоставления статистических данных на принятие решений органами государственной власти и состоянии экономической безопасности территории.

Эффективное социально-экономическое развитие государства и регионов, входящих в его состав, государственное управление и регулирование государственной системы невозможно осуществить без своевременного получения и анализа научно-обоснованной, достоверной, полной официальной статистической информации о социальных, экономических, демографических, экологических и других явлениях в обществе Российской Федерации и регионов в её составе.

Согласно утвержденной Указом Президента РФ от 13.05.2017 № 208 Стратегии экономической безопасности России до 2030 года понятие «экономическая безопасность» представляет собой: «...состояние защищенности национальной экономики от внешних и внутренних угроз, при котором обеспечиваются экономический суверенитет страны, единство ее экономического пространства, условия для реализации стратегических национальных приоритетов Российской Федерации» [3].

В Стратегии экономической безопасности России до 2030 также даётся отсылка к необходимости использования статистических данных при мониторинге и оценке состояния экономической безопасности.

Вопросом экономической безопасности территории занимались многие российские исследователи, среди которых И.С. Белик, А.Ф. Денисов, А.А. Куклин, Ж.А. Мингалева, В.К. Сенчагов, А.И. Татаркин, Э.А. Уткин, Н.С. Обухова др. [6, 7, 8, 10, 11, 12].

Необходимость применения официальной статистической информации при определении уровня экономической безопасности отмечает Н.С. Обухова: «...существующий в науке инструментарий оценки экономической безопасности вполне применим на практике. Его существенными преимуществами являются использование исходных данных, включенных в систему мониторинга Федеральной службы государственной статистики, и приемлемый уровень трудоемкости». Так же автор делает вывод о том, что инструментарий, в том числе и статистический, с помощью которого производится оценка экономической безопасности в настоящее время разработан не полностью: «...современный инструментарий оценки параметров экономической безопасности муниципального образования с общепринятой и утвержденной системой критериев находится на стадии разработки» [8].

Следовательно, в определении уровня экономической безопасности в России и её регионах, а также в принятии органами власти дальнейших решений, связанных с её обеспечением, непосредственно участвует Федеральная служба государственной статистики и её территориальные органы [1]. Для принятия органами власти верных решений по разработке мер нейтрализации вызовов и угроз экономической безопасности, а также устранения последствий от их возникновения и предотвращения возникновения кризисных ситуаций требуется корректная, полная и достоверная статистическая информация.

Вопрос оценки уровня качества показателей, формируемых и предоставляемых официальной статистикой, находит свое отражение в научных трудах А.П. Цыпина, В.С. Елаховского, В.Л. Бессонова, Т.И. Ведерниковой, В.И. Дибирдеева, Г.И. Ханина, О.И. Полосовой и других представителей научной общественности [4, 5, 13, 14].

По мнению указанных авторов, качество статистической информации находится на невысоком уровне. Основной причиной такой ситуации на всем временном отрезке существования государственной официальной статистики, начиная с эпохи правления Петра I и заканчивая современным этапом развития Росстата, по их мнению, является подлог фактов в первичных и сводных материалах.

Основные критические моменты сбора и обработки официальной статистической информации, выделяемые исследователями, сведены и представлены в таблице.

Таблица

**Основные критические моменты сбора и обработки
официальной статистической информации**

Исследователь	Основные критические моменты
В.С. Елаховский	Возможность адекватного оперативного анализа текущей экономической ситуации и проведения прогнозных расчетов ограничена периодическим проведением пересмотра ранее опубликованных сведений и степенью возникающих вследствие таких пересмотров изменений макроэкономических показателей [5].
В.Л. Бессонов	Выделяет недостатки материалов, предоставляемых Федеральной службой государственной статистики в зависимости от конечной цели их использования и делит эти материалы на три группы: статистические сборники, используемые для анализа долговременных тенденций; ежемесячные периодические издания, которые применяются для оперативной оценки изменений в экономической ситуации; методика сбора и обобщения показателей, которая применяется для выявления возможности возникновения несопоставимости данных. Среди недостатков первой группы материалов автор выделяет следующие: данные приводятся только в годовом выражении; периодическое уточнение ранее опубликованных значений; приведены фрагментарные временные ряды; различается точность показателей в различных сборниках. Недостатки второй группы заключаются в следующем: запаздывание публикуемой информации; постоянное уточнение уже опубликованных сведе-

Исследователь	Основные критические моменты
	ний; отсутствие длинных временных рядов; дублирование информации. Третья группа обладает, по мнению автора, следующим рядом недостатков: отсутствует хронология изменения методологий расчета показателей; методики изложены не в полной мере; усовершенствование методик снижает сопоставимость данных в динамике [4].
А.П. Цыпин	В качестве ключевой причины искажения информации, предоставляемой официальной статистикой выделяет занижение респондентами показателей в личных целях [14].

Подводя итоги анализа исследований российских авторов по вопросу качества статистических материалов, можно прийти к выводу о том, что проблема является комплексной и непосредственно влияет на решения, принимаемые пользователями этих материалов, среди которых, в первую очередь, органы исполнительной власти.

Информация, предоставляемая органами статистики, необходима для разработки государственных программ, Стратегий развития и Стратегий безопасности во всех сферах деятельности государства, включая экономику, а также иных нормативно-правовых актов в соответствующей сфере деятельности, принятия решений на уровне федерации, субъектов федерации и муниципальных органов [13].

В результате принятия некорректных решений, связанных с использованием недостоверной статистической информации могут возникнуть различные угрозы экономической безопасности территории.

Проведенный комплексный анализ формирования и обработки статистической информации региональными органами Росстата позволил выявить следующие основные проблемные моменты:

1. Проблемы, связанные с непредставлением или предоставлением недостоверной информации респондентами по статистическим сборам

Качество первичного статистического материала, который собирается у респондентов (физических и юридических лиц), несомненно, оказывает огромное влияние на качество полученной сводной информации.

Среди проблемных моментов, связанных с непредставлением сведений по статистическим сборам информации или представлением недостоверной информации респондентами можно выделить умышленную и непреднамеренную подачу недостоверной или искаженной статистической отчетности или её неподачу.

Непреднамеренное предоставление искаженной информации возникает вследствие некомпетентности кадров организации-респондента, арифметическими или логическими ошибками, описками, неверным округлением. Кроме того, в связи с разнообразием форм статистической отчетности респондентам бывает сложно определить, должны ли они сдавать какую-либо отчетность в органы статистики и если «да», то какую.

Таким образом, на достоверность данных влияет и подготовленность объекта к статистическому обследованию.

Умышленное искажение предоставляемых сведений в статистической отчетности возникает вследствие того, что опрашиваемый, зная истинную ситуацию, в целях получения личной выгоды, сознательно сообщает ложные сведения.

2. Проблемы, связанные с некорректными запросами органов статистического наблюдения

Вторая группа проблем определена некорректными запросами органов статистики и связана с этапом разработки форм отчетности.

Федеральную службу государственной статистики (Росстат) определим как ядро работы всех региональных подразделений статистики, так как именно там разрабатывается федеральный план статистических работ на очередной год и на дальнейшую

перспективу, а также методология расчета всех статистических показателей, сбора и обработки статистических данных.

Территориальные органы собирают информацию на основе форм статистического наблюдения, разработанных на федеральном уровне, которые не всегда должным образом учитывают региональную специфику деятельности организаций-респондентов, а также специфику деятельности отдельных респондентов. Они могут быть несопоставимы друг с другом по причине разных временных периодов сбора, непрозрачной методики.

Таким образом, респондентами будут представлены некорректные сведения, вследствие того, что формы не учитывают специфику их деятельности, например, в сроках предоставления отчетности, строках заполнения, методологии расчета показателей.

3. Проблемы, связанные с возникновением ошибок на этапе обработки информации и её интерпретации

Третья группа включает проблемы, связанные с возникновением ошибок на этапе обработки информации и её интерпретации и также охватывает различные их виды.

На качество статистической информации, полученной на этапе сбора и обработки первичных данных, преимущественно влияют два основных фактора:

- Уровень подготовленности и профессионализма специалиста, занятого обработкой и сведением статистических данных. Этот фактор особенно остро проявляется по причине того, что в органах статистики предусмотрен наем на договорной основе внештатных физических и юридических лиц с целью выполнения вспомогательных работ при проведении масштабных федеральных статистических наблюдений [9].

- Качество и корректность используемого специалистом статистического инструментария. К ним относятся бланки, формы, анкеты, инструкции, формуляры, разъяснения, касающиеся проведения наблюдения [1].

Немаловажными условиями обеспечения достоверности предоставляемой Росстатом информации являются полнота охвата объекта наблюдения, а также соблюдение принципов целостности и точности при регистрации данных по каждой единице наблюдения.

На этапе обработки информации также важна логистика движения информации. К примеру, то, как она проходит обработку, проверку, количество специалистов, занятых её обработкой и выверкой, слаженность их работы. Не менее важным элементом на этом этапе является оснащённость технических средств соответствующим программным обеспечением и квалифицированности кадров.

4. Проблемы, связанные с информационными угрозами

Четвертая группа охватывает проблемы, связанные с информационными угрозами: утечка и нарушение целостности и доступности информации, компьютерные вирусы, ошибки специалистов, ошибки пользователей, сбой в работе технической системы сбора и обработки информации в результате хакерских атак.

Среди основных причин утечки и нарушения статистической информации, и в том числе конфиденциальной в результате хакерских атак, были выявлены:

- недостаточное управление серверами;
- неразвитость программно-технологического администрирования организации и системы защиты информации;

Возможных нарушителей информационной безопасности по признаку отношения к объекту исследования можно условно разделить две группы:

- внутренние;
- внешние.

Внутренние нарушители – это те субъекты нарушений, которые имеют законный доступ к информации на основании их трудовых отношений с Росстатом, то есть это все работники Службы федерального статистического наблюдения и его региональ-

ных подразделений. Так, сотрудники могут действовать как в рамках, так и в нарушение переданных им полномочий.

Действия внутренних нарушителей выражаются в рамках возникновения нескольких сценариев поведения работников:

- нецелевое использование ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и электронной почты в личных непроизводственных целях;
- самостоятельная установка и использование нелегализованного программного обеспечения;
- нерегламентированное использование компьютеров и другого оборудования;
- несанкционированное копирование конфиденциальной информации на переносные носители, а также кража корпоративных носителей информации;
- несанкционированное уничтожение информации на серверах и рабочем оборудовании;
- внесение нерегламентированных изменений в данные, необходимые для выполнения основных функций Росстата;
- кража или вывод из строя оборудования, отвечающего за обработку и хранение конфиденциальной информации.

Среди внешних нарушителей выделим хакеров, недобросовестных поставщиков программно-технических продуктов; подрядчиков, осуществляющих работы, связанные с монтажом, установкой и настройкой оборудования и его ремонтом.

Возможные варианты воздействия внешних нарушителей на режим информационной безопасности с наибольшей вероятностью проявляются в виде:

- хакерских атак на VPN-серверы с целью захвата и управления сервером, незаконного получения полномочий администратора, доступа в ИВС Росстата;
- заражения клиентской рабочей станции компьютерным вирусом или другой вредоносной программой преимущественно через сообщения электронной почты.

Для решения проблем, вызванных различными причинами предоставления территориальными органами статистического наблюдения недостоверной, низкокачественной информации, могут быть приняты меры по повышению качества официальной статистической информации. Выявленные пути решения проблемы систематизированы и обобщены в схеме, изображенной на рисунке.

Таким образом, предложены следующие меры повышения качества материалов, предоставляемых органами статистики:

1. Совершенствование системы сбора и повышение достоверности первичных данных.

Необходимо развитие современной структуры и технологии систем сбора, обработки и распространения данных. В первую очередь, необходимо внедрение информационно-вычислительной системы и отечественного программного обеспечения нового поколения, соответствующих международному уровню развития.

Передовые информационные технологии сегодня играют важную роль в эффективности работы любой организации скорость, с которой она реагирует на изменения в экономике и технологиях, должна быть наивысшей и превосходить конкурентов. От этого напрямую зависит успешность, эффективность и экономическая безопасность, как самого органа власти, так и региона, зависящего от его работы.

Наименее поддающаяся контролю причина недостоверности информации – предоставление искаженных данных респондентами. Некоторые сведения с трудом поддаются проверке на подлинность и могут исказить значительный блок информации, особенно в сфере, где присутствует всего несколько крупных респондентов. Меры по сокращению нарушений могут быть приняты в направлении увеличения штрафных санкций за нарушение порядка предоставления статистической отчетности или её непредставления.

Также влияние на качество предоставляемых респондентами сведений окажет активная и эффективная антикоррупционная деятельность. Таким образом, необходимо

обеспечить независимый сбор и обработку первичной статистической информации путем отслеживания нарушений на этапе предоставления отчетности респондентами и пресечения совершения коррупционных действий [2].

2. Совершенствование системы обработки информации.

Необходимо введение эффективного контракта (договора) с работниками в целях повышения ответственности государственных служащих за качество и своевременность выполнения работ, и проведение ежегодных курсов по повышению квалификации работников и руководителей, а также проверка их компетентности.

В работе органов статистики не используются и облачные технологии. Их неоспоримые преимущества заключаются в доступе к информации с любого устройства, подключенного к интернету. Как следствие, пользователь не привязан к определенному рабочему месту; могут быть сокращены расходы на приобретение дорогостоящих мощных компьютеров, серверов; для хранения информации; необходимые базовые инструменты для работы предоставляются автоматически веб-сервером; уровень технологичности вычислительных мощностей позволяет хранить, анализировать и обрабатывать данные в системе; современные облачные вычисления могут обеспечить наивысшую надежность.



Рис. 1. Мероприятия по повышению качества официальной статистической информации

3. Совершенствование политики Росстата.

Немаловажный шаг к повышению эффективности работы органов статистического наблюдения – разработка новых, не используемых ранее в статистической практике показателей и методик их расчета, определение источников и методов получения первичных данных, с учетом территориальных особенностей, разработка новейшего

отечественного программно-технологического обеспечения, а также определение процедуры согласования и представления итоговых данных.

Для совершенствования российской статистики обязательным условием является необходимость повышения прозрачности и открытости методологии расчета статистических индикаторов.

Планирование расходов с учетом обеспечения материально-технического оснащения и программного обеспечения подразделений Федеральной службы статистики, разработка и внедрение нового программного продукта.

Разработка методики эффективного контроля за достоверностью информации, дополнительная проверка.

4. Обеспечение информационной безопасности. Введение новых методов защиты информации от несанкционированного доступа.

Проблема возможного несанкционированного доступа также остро стоит при решении вопроса безопасности. В целях защиты информации от несанкционированного доступа возможно применение следующих мер и процедур:

- внедрение разрешительной системы допуска пользователей к информационной системе;
- регистрация действий пользователей и обслуживающего персонала, контроль несанкционированного доступа и действий пользователей, обслуживающего персонала и посторонних лиц;
- учет и хранение съемных носителей информации, и их обращение, исключаящее хищение, подмену и уничтожение;
- резервирование технических средств, дублирование массивов и носителей информации;
- использование средств защиты информации, прошедших в установленном порядке процедуру оценки соответствия;
- использование защищенных каналов связи;
- антивирусная защита;
- своевременное выявление инцидентов и незамедлительное реагирование на них.

На основе официальной статистической информации её пользователи планируют и осуществляют свою деятельность. Особое значение достоверность статистической информации имеет для органов исполнительной власти, так как они принимают на основе официальной статистической информации решения в соответствующей сфере деятельности, разрабатывают государственные программы развития отрасли и социально-экономической сферы, как региона, так и государства в целом [3].

На современном этапе развития статистики всецело доверять официальной статистической информации не представляется возможным. Проблема требует решения, в чем заинтересованы все пользователи информации, и в особенности федеральные органы власти и органы власти субъектов РФ.

Список литературы:

- [1] Федеральный закон от 29.11.2007 г. № 282-ФЗ «Об официальном статистическом учете и системе государственной статистики в Российской Федерации».
- [2] Федеральный закон от 25.12.2008 № 273-ФЗ «О противодействии коррупции».
- [3] Указ Президента РФ от 13.05.2017 № 208 «О Стратегии экономической безопасности России до 2030 года»
- [4] Бессонов В.Л. Взгляд на российскую статистику со стороны пользователя // Вопросы статистики, 2009. 32 с.
- [5] Елаховский В.С. О качестве официальной макроэкономической статистики // Рынок ценных бумаг, 1999. № 10. С. 39–41.
- [6] Куклин А.А., Белик И.С. Влияние экологоэкономической безопасности на инвестиционную привлекательность региона // Экономика региона. 2009. № 4. С. 155–158.

- [7] Мингалева Ж.А. Структурная модернизация: вопросы экономической безопасности // Экономика региона. 2012. № 1. С. 109–117.
- [8] Обухова Н.С. Практика применения аналитического инструментария оценки экономической безопасности муниципального образования // Экономика и управление: проблемы, решения. 2015. № 12, том 3. С. 203–209.
- [9] Стародубцев С.О. Необходимость повышения квалификации трудового персонала как фактор успешного развития организации // Молодой ученый, 2016. №6. С. 559–561.
- [10] Сенчагов В.К. О сущности и основах стратегии экономической безопасности России // Вопросы экономики. 2005. № 1. С. 84–100.
- [11] Татаркин А.И., Куклин А.А., Романова О.А. и др. Нейтрализация угроз экономической безопасности региональной хозяйственной системы с переводом на «модель устойчивого развития» // Информационный бюллетень РФФИ. 1997. Т. 5. № 6.
- [12] Уткин Э.А., Денисов А.Ф. Государственное и муниципальное управление. М.: Ассоциация авторов и издателей «Тандем»: Издательство «ЭКМОС», 2001. – 304 с.
- [13] Ханин Г.И., Полосова О.И. За верную цифру: экономическая статистика России, хозяйственная жизнь и экономическая политика // Вопросы статистики, 2005. №3. С. 51–59.
- [14] Цыпин А.П. Качество официальных статистических материалов// Интеллект. Инновации. Инвестиции, 2013. № 1. С. 88–93.

IMPROVEMENT OF THE STATISTICAL SUPPORT SYSTEM OF GOVERNMENT MANAGEMENT BODIES AS A TOOL TO INCREASE ECONOMIC SECURITY IN THE TERRITORY

S.V. Bastyrykin, E.D. Rudikova

Key words: *economic security, statistics, official statistical information, quality of information.*

The object of the study is statistical information provided by the Federal Service of State Statistics and its territorial bodies, as well as its role in ensuring economic security at the regional level. A comprehensive analysis of the formation and processing of statistical information by the regional bodies of the Federal State Statistics Service has been carried out. The analysis reveals the main problematic issues that arise when collecting, processing and using statistical information. The problematic moments are systematized into four groups depending on the reasons for their occurrence: problems related to the non-submission or provision of inauthentic information by respondents on statistical fees; problems related to incorrect inquiries of statistical observation bodies; problems associated with the occurrence of errors during the processing of information and its interpretation; problems associated with information threats: leakage and violation of the integrity and availability of information, computer viruses, expert errors, user errors, failure of the technical system for collecting and processing information as a result of hacker attacks. The main measures to neutralize threats caused by inaccuracies and inadequate quality of official statistical information were developed and integrated into the scheme for problem-solving groups. The conclusion is made about the direct influence of the reliability and timeliness of statistical data on decision-making by state authorities and the state of economic security of the territory.

Статья поступила в редакцию 03.04.2018 г.

УДК 657.1.012.1

Ю.Ю. Королев, к.э.н., доцент, зав. кафедрой ИБМТ БГУ

Ю.А. Мышковец, к.э.н., доцент ИБМТ БГУ

220007, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Московская, 5

ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА ACTIVITY BASED COSTING (ABC)

Ключевые слова: затраты, управленческий учет, калькулирование по полным затратам, накладные расходы, Activity Based Costing

В статье рассматривается метод Activity Based Costing (ABC), который является одним из альтернативных методов калькулирования себестоимости в управленческом учете. Проанализированы предпосылки возникновения метода, его сущность и особенности, дана оценка некоторых преимуществ и недостатков Activity Based Costing. На условном цифровом материале проиллюстрирована возможность применения метода в условиях современной производственной среды. Даются рекомендации по организации процесса эффективного внедрения и использования метода Activity Based Costing на практике.

Под методом учета затрат и калькулирования себестоимости понимают совокупность способов сбора, группировки и учета информации о производственных затратах, обеспечивающих получение информации для контроля за затратами на производство. Метод учета затрат и калькулирования себестоимости выражается в определенной взаимосвязи как приемов, так и способов отражения и контроля издержек производства и исчисления фактической себестоимости продукции, работ, услуг.

В практике работы российских и белорусских предприятий исходя из технологических и других особенностей производства наибольшее распространение получили такие методы учета затрат и калькулирования себестоимости продукции, часто называемые еще «классическими», как позаказный, попроцессный, попередельный и нормативный.

Методы калькулирования – совокупность приемов (способов) исчисления себестоимости продукции и ее единицы [3, 4, 6, 7, 9, 10].

В соответствии с Методическими рекомендациями по прогнозированию, учету и калькулированию себестоимости продукции (товаров, работ, услуг) в промышленных организациях системы Министерства промышленности Республики Беларусь, утвержденных приказом Министерства промышленности Республики Беларусь 5.06.2015 г. № 273, которые носят рекомендательный характер, в промышленных организациях рекомендованы к использованию следующие методы калькулирования:

- простой;
- нормативный;
- позаказный;
- поконтрактный;
- попроцессный;
- попартионный;
- попередельный;
- директ-костинг.

При этом упомянутыми Методическими рекомендациями к современным методам планирования и калькулирования себестоимости отнесены такие методы, как директ-кост, стандарт-кост, ABC-кост и таргет-кост.

В теории методы калькулирования классифицируют в зависимости от их возможностей организации оперативного учета и контроля затрат – методы, основанные на

калькулировании фактических и нормативных затрат, в зависимости от полноты включаемых в себестоимость единицы продукции затрат – метод калькулирования по полной себестоимости и по прямым затратам (через определение сокращенной себестоимости), а также в зависимости от объекта учета затрат – методы, предполагающие определение себестоимости единицы продукции, процесса, заказа или передела [11, 12].

Независимо от того, какой объект учета затрат выбран в соответствии с тем или иным методом калькулирования – будь то единица продукции, процесс, заказ или передел – для организации учета прямых и накладных, переменных и постоянных затрат применяются либо методы, основанные на калькулировании фактических, либо нормативных затрат [5, 8]. Различия двух последних из упомянутых выше методов учета и калькулирования себестоимости заключаются в том, что первый из них, называемый в западной литературе Absorption Costing, предполагает включение в себестоимость не только прямых (как постоянных, так переменных), но и косвенных затрат. Второй метод (Direct Costing) основан на включении в себестоимость производимой продукции только прямых производственных затрат. Все косвенные расходы, кроме переменных общепроизводственных, относятся к расходам текущего (отчетного) периода.

Сущность формирования производственной себестоимости в белорусской учетной практике с применением метода калькулирования по полной себестоимости (Absorption Costing) схож с российской и состоит в том, что все прямые затраты непосредственно учитываются на счетах 20 «Основное производство» или 23 «Вспомогательные производства», а косвенные предварительно собираются на счетах 25 «Общепроизводственные затраты» и 26 «Общехозяйственные затраты». В конце отчетного периода общепроизводственные затраты распределяются по видам продукции, работ и услуг и отражаются на счете 20 или 23, а общехозяйственные затраты, имеющие условно-постоянный характер, списываются как расходы по текущей деятельности [12].

В управленческом учете одним из альтернативных методов калькулирования себестоимости является метод функционального учета затрат (Activity Based Costing, ABC), упомянутый выше как ABC-кост. Данный метод имеет существенные отличия от традиционных систем калькулирования, в частности, от калькулирования себестоимости по полным затратам, и позволяет организовать более обоснованное распределение накладных расходов в условиях современной производственной среды [1, 2].

Предпосылки возникновения метода Activity Based Costing. Традиционная система калькулирования себестоимости по полным затратам возникла в то время, когда большинство компаний производственного сектора использовало практически одинаковые технологические стадии и процессы для производства достаточно ограниченного ассортимента продукции, имевшей в составе себестоимости примерно одинаковый уровень накладных (косвенных) расходов. Более того, удельный вес накладных расходов в общей величине расходов был достаточно невелик по сравнению с преобладавшими трудовыми и материальными затратами. Как следствие, подходы к распределению накладных расходов различными методами были не так неактуальны, как в современную эпоху бурного внедрения инноваций и развития IT-технологий.

В условиях современного производства накладные расходы играют гораздо более существенную роль, а фактические прямые трудовые затраты могут составлять лишь около 5% себестоимости продукции. В связи с этим сегодня достаточно сложно найти аргументы в пользу использования, например, величины прямых трудовых и материальных затрат в качестве традиционной базы распределения накладных расходов.

Необходимо отметить, что затраты на планирование, контроль производственного процесса и IT-поддержку в целом не зависят от уровня деловой активности компании и могут варьироваться в долгосрочной перспективе вследствие расширения спектра и сложности выпускаемой продукции.

Использование традиционных систем калькулирования себестоимости предполагает, что затраты на производство различных видов продукции в целом пропорциональны объемам их производства. При этом существенным недостатком указанных систем калькулирования является отнесение большей доли накладных расходов на себестоимость видов продукции, произведенных в большем объеме, и, соответственно, включение слишком малой доли накладных расходов в себестоимость видов продукции, произведенных в незначительном количестве. Именно эту проблему способно решить применение метода ABC.

Определение метода Activity Based Costing. Метод ABC предполагает определение факторов или кост-драйверов (cost-drivers), которые оказывают непосредственное влияние на затраты по основным видам деятельности и накладные расходы компании. Примерами видов деятельности, в частности, являются закупка и складское хранение материалов; производственная деятельность, включая обработку материалов и процесс сборки; реализация продукции и др. При этом накладные расходы включаются в себестоимость различных видов продукции исходя из величины использования кост-драйверов на производство конкретного вида продукции.

Применение метода ABC базируется на четырех основных этапах (рис. 1):

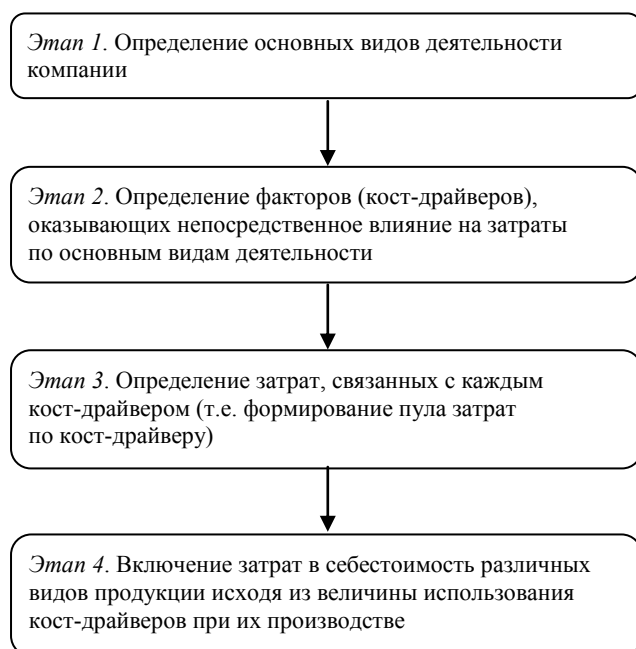


Рис. 1. Основные этапы реализации метода ABC

Кост-драйверами, в частности, могут быть:

- для затрат, связанных с закупкой и приобретением материалов (ordering costs) – количество заказов, сформированных отделом снабжения;
- для затрат на складское хранение материалов (materials handling costs) – количество отпусков материалов в основное производство за отчетный период;
- для затрат, возникающих при отгрузке продукции (despatching costs) – количество отгрузок.

Сравнение метода калькулирования себестоимости по полным затратам и метода Activity Based Costing. Приведенный ниже цифровой пример наглядно иллюстрирует основной недостаток применения метода калькулирования себестоимости по полным затратам, заключающийся в отнесении накладных расходов на себестоимость отдельных видов продукции лишь пропорционально объему ее выпуска. Данный

пример также иллюстрирует способность метода ABC обеспечить более обоснованное и логичное распределение расходов.

Предположим, что компания производит 4 вида продукции: А, В, С и D, объем выпуска и затраты на производство которых за отчетный период представлены в таблице 1.

Таблица 1

Объемы выпуска продукции и уровень затрат

Вид продукции	Выпуск, ед.	Прямые материальные затраты на единицу продукции, ден. ед.	Прямые трудовые затраты на единицу продукции, час.	Время работы оборудования на единицу продукции, час.	Количество производственных пусков, ед.
А	10	20	1	1	2
В	10	80	3	3	2
С	100	20	1	1	5
Д	100	80	3	3	5
Итого	220	200	8	8	14

При этом ставка оплаты часа прямого труда составила 5 ден. ед.

В таблице 2 приведены накладные (косвенные) расходы компании за отчетный период.

Таблица 2

Накладные (косвенные) расходы

Накладные расходы	Сумма, ден. ед.
Амортизация производственного оборудования	3 080
Общепроизводственные расходы	10 920
Затраты по контролю качества продукции	9 100
Затраты по складскому хранению материалов	7 700
Итого	30 800

Рассчитаем себестоимость каждого вида продукции методом калькулирования затрат по полным затратам и с применением метода ABC.

При калькулировании по полным затратам в качестве базы распределения накладных (косвенных) расходов компании могут быть использованы данные о затраченных часах прямого труда либо времени работы оборудования (таблица 3).

Таблица 3

**Расчет себестоимости выпуска отдельных видов продукции
методом калькулирования по полным затратам**

Показатели	А	В	С	Д	Итого
Материальные затраты	200	800	2 000	8 000	11 000
Затраты прямого труда	50	150	500	1 500	2 200
Накладные (косвенные) расходы*	700	2 100	7 000	21 000	30 800
Итого	9,5	30,5	95	305	440
Объем выпуска, ед.	10	10	100	100	220
Себестоимость единицы, ден. ед.	95	305	95	305	800

* $30\,800 \div 440 = 70$ ден. ед. на 1 час прямого труда или 1 час работы оборудования

При использовании метода ABC число производственных пусков может быть использовано в качестве кост-драйвера для общепроизводственных расходов, затрат по контролю качества продукции и затрат по складскому хранению материалов, а часы работы оборудования – в качестве кост-драйвера для амортизационных отчислений по производственному оборудованию. В таком случае, себестоимость выпуска отдельных видов продукции может быть определена следующим образом (таблица 4):

Таблица 4

Расчет себестоимости выпуска отдельных видов продукции методом ABC

Показатели	Расчет на ед. кост-драйвера, ден. ед.	A	B	C	D	Итого
Материальные затраты	–	200	800	2 000	8 000	11 000
Затраты прямого труда	–	50	150	500	1 500	2 200
Амортизация производственного оборудования	$3\,080 \div 440$	70	210	700	2100	3 080
Общепроизводственные расходы	$10\,920 \div 14$	1 560	1 560	3 900	3 900	10 920
Затраты по контролю качества продукции	$9\,100 \div 14$	1 300	1 300	3 250	3 250	9 100
Затраты по складскому хранению материалов	$7\,700 \div 14$	1 100	1 100	2750	2 750	7 700
Итого	–	4 280	5 120	13 100	21 500	44 000
Объем выпуска, ед.	–	10	10	100	100	220
Себестоимость единицы	–	428	512	131	215	X

В таблице 5 сравним результаты использования методов калькулирования по полным затратам и ABC.

Таблица 5

Сравнение результатов калькулирования себестоимости различными методами

Вид продукции	Себестоимость единицы продукции, рассчитанная методом калькулирования по полным затратам	Себестоимость единицы продукции, рассчитанная по методу ABC	Отклонение себестоимости единицы продукции	Отклонение себестоимости всего объема выпуска продукции
A	95	428	+ 333	+3 330
B	305	512	+ 207	+2 070
C	95	131	+ 36	+3 600
D	305	215	– 90	–9 000

Анализ данных, приведенных выше, позволяет сделать следующие выводы по результатам применения метода калькулирования по полным затратам:

а) недостаточная доля накладных расходов относится на себестоимость видов продукции, произведенных в меньшем объеме (в данном примере это продукция видов A и B) и избыточная доля накладных расходов включается в себестоимость видов продукции, произведенных в большем объеме (продукция вида D);

б) использование метода ведет к неоправданному завышению доли накладных расходов в себестоимости продукции со значительным удельным весом прямых тру-

довых и материальных затрат (в данном примере это продукция видов В и D), в то время как доля накладных расходов в себестоимости видов продукции с небольшим объемом прямых затрат на труд и материалы составляет незначительную величину (продукция видов А и С).

Преимущества и недостатки метода Activity Based Costing. Пример расчета себестоимости методом ABC, приведенный выше, свидетельствует о том, что какие-либо существенные сложности в его применении отсутствуют и это простота является важным достоинством данного метода. Также можно выделить и другие преимущества метода ABC:

а) использование различных кост-драйверов позволяет учитывать должным образом такие факторы современного производства, как постоянное расширение спектра выпускаемой продукции и уменьшение продолжительности жизненного цикла отдельных ее видов;

б) выступает действенным механизмом оценки прибыльности производства отдельных видов продукции в условиях высокой конкуренции и позволяет менеджменту компании отслеживать поведение кост-драйверов, оказывающих непосредственное влияние на величину и динамику накладных расходов компании;

в) раскрывает в управленческом учете информацию не только о традиционных видах накладных расходов (traditional factory floor overheads), но и формирует данные о таких накладных расходах, характерных для современных производственных систем, как затраты на планирование и контроль производственного процесса (production scheduling and inspection costs), включая их IT-поддержку (IT-support costs), затраты на разработку и дизайн продукции (product R&D costs), расходы на постпродажный клиентский сервис (customer care services costs), затраты по контролю качества продукции (quality control costs).

Вместе с тем, метод ABC не лишен и *недостатков*:

а) спорным, на наш взгляд, является мнение некоторых авторов о том, что только какой-либо один кост-драйвер может оказывать непосредственное влияние на поведение всех элементов формируемого по этому кост-драйверу пула затрат;

б) сложно определить кост-драйвер затрат, непосредственно не связанных с производством и, следовательно, для которых использование производственных кост-драйверов является весьма спорным и скорее неприемлемым (в частности, для затрат компании на обязательный внешний аудит);

в) отдельные критики применения данного метода утверждают, что он не вполне корректно позволяет распределять затраты по аренде, коммунальные расходы, расходы по амортизации зданий и сооружений и некоторые другие. Для упомянутых затрат более оправдано применение традиционных методов калькулирования;

г) внедрение метода ABC иногда является своеобразной данью моде: использование его в управленческом учете часто не обусловлено потребностью в более детальном учете и анализе затрат компании. Следовательно, использование, например, традиционных методов калькулирования себестоимости по полным затратам является иногда более оправданным и реалистичным;

д) затраты на внедрение и ведение управленческого учета методом ABC могут превысить преимущества от его использования, заключающиеся, как указывалось ранее, в более детальном и обоснованном распределении накладных расходов компании.

Выводы. Таким образом, применение метода ABC в управленческом учете может дать иные результаты и определить новые ориентиры в управлении себестоимостью для менеджмента компании. Соответственно, это может способствовать повышению качества управленческих решений. Однако не следует забывать о необходимости адаптации к применению метода ABC бухгалтерского учета, на основании данных которого формируется значительная часть информации для системы управленческого учета.

Список литературы:

- [1] Drury C. (2005). Management and Cost Accounting (6th ed.). London: Thomson Learning.
- Hornngren C.T., Datar, S. M., Foster, G., Rajan, M., & Ittner, C. (2009). Cost Accounting: A managerial emphasis (13th ed.). Pearson Prentice Hall.
- [2] Innes J., & Mitchell F. (1991). A review of activity-based cost practice in handbook of management accounting practice. In C. Drury (Ed.). ButterAorth-Heinemann.
- [3] Аширов В. К. Интерпретация понятия «Себестоимость» в разных системах учета / В. К. Аширов // Вестник Самарского государственного университета. – 2013. – №7. – С. 6.
- [4] Баринаова О. И. Классификация затрат // Молокохозяйственный вестник. Экономика и экономические науки. – 2014. – №1. – С. 91.
- [5] Гавриш К.Е. Методы учета затрат в соответствии с МСФО / К.Е. Гавриш // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 4-4. - С. 473-475.
- [6] Дзюга С. В. Снижение себестоимости продукции в современных условиях деятельности организации / С. В. Дзюга // Инновационная наука. – 2015. – №3, С. 22.
- [7] Корнев Г. Н. Модифицированный анализ структуры себестоимости продукции / Г. Н. Корнев // Экономический анализ: теория и практика. – 2012. – №13, С. 29.
- [8] Мушенко Н.Ф Перспективные калькуляционные системы [Текст] / Н.Ф. Мушенко // Всё для бухгалтера. – 2012. – №8. – С. 22–29.
- [9] Никитина А. Р. Содержание понятий «Затраты», «Расходы», «Издержки» / А. Р. Никитина // Мир современной науки. – 2014. – №6, С. 5
- [10] Смирнов Р.С. Понятие, структура, состав и динамика себестоимости продукции / Р.С. Смирнов // Молодой ученый. – 2015. – №11., С. 201.
- [11] Хадыров Н.К. Способы снижения себестоимости в современных условиях экономики / Н.К. Хадыров // Наука времени. Экономика и экономические науки. – 2015. – №9, С. 89.
- [12] Шлычков Д.С. Методы учета затрата и калькулирования себестоимости продукции с применением счетов бухгалтерского и производственного учета / Д.С. Шлычков Евразийский союз ученых. – 2017. - № 9-2 (42). - С. 81–86.

FEATURES AND BENEFITS OF USING THE ACTIVITY BASED COSTING METHOD

Y.Y. Karaleu, Y.A. Myshkovets

Key words: expenses, management accounting, absorption costing, overheads, Activity-Based Costing

The authors of the article examine Activity Based Costing (ABC) method, which is one of the alternative methods for calculating the cost in management accounting. The prerequisites for the origin and development of the method, its essence and features are analyzed, some advantages and disadvantages are evaluated. On the base of hypothetical example benefits of applying Activity Based Costing in contemporary conditions are illustrated. Some recommendations on the organisation, effective implementation and use of the method are given. Recommendations are given how to implement and use effectively the Activity Based Costing method.

Статья поступила в редакцию 10.04.2018 г.

УДК 006:002.66

*Д.М. Сатаева, к.т.н., доцент ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет»
603062, г. Нижний Новгород, ул. Горная, 13*

УПРАВЛЕНИЕ ДОКУМЕНТИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ: ПОДХОД НА ОСНОВЕ ISO 9001:2015

Ключевые слова: *ISO 9001:2015, документ, запись, информация, менеджмент качества, стандарт, управление.*

В статье определены элементы системы менеджмента качества, подлежащие документированию; разработана структура документированной информации организации; определен порядок действий по реализации требований стандарта ISO 9001:2015 в отношении внешней и внутренней документации, включая свидетельства соответствия деятельности организации (записи).

Введение

Организации сталкиваются сегодня и будут сталкиваться завтра с жесткой глобальной конкуренцией, требованиями потребителей, быстро меняющих свои желания, сокращением времени на ответную реакцию и времени жизни продукта, а также требованиями работников организации [1]. В такой ситуации внедрение системы менеджмента качества (далее – СМК) на основе стандарта ISO 9001:2015 [2], являющееся стратегическим решением для организаций, направлено на улучшение результатов ее деятельности и обеспечение прочной основы для инициатив, ориентированных на устойчивое развитие. Потенциальными преимуществами от внедрения СМК можно назвать следующие:

- способность организации стабильно предоставлять продукцию и оказывать услуги, которые удовлетворяют требования потребителей, а также законодательные и нормативные требования;
- возможность продемонстрировать соответствие деятельности организации в области качества установленным выше требованиям [3].

Надлежащим образом оформленная СМК обеспечивает основу для планирования, выполнения, мониторинга и улучшения результатов деятельности. Именно поэтому обязательным требованием стандарта является управление документированной информацией, включающее в себя этапы разработки, согласования, утверждения, регистрации, рассылки, актуализации и уничтожения документов.

Все организации независимо от их структуры, численности и отраслевой принадлежности создают информацию об осуществлении своих рабочих процессов. Документы как один из видов информационных ресурсов и активов организации являются частью ее интеллектуального капитала.

Создание документов и управление составляют неотъемлемый элемент любого вида деятельности или делового процесса организации, который в свою очередь обеспечивает подотчетность, управление рисками и непрерывность деятельности. Стоит также упомянуть, что управление документацией дает организациям возможность извлекать пользу из обладающих ценностью информационных ресурсов, таких как деловые, коммерческие активы и ресурсы знаний, делать вклад в обеспечение сохранности коллективной памяти [4].

Цель управления документированной информацией заключается в создании документов и контролируемом управлении для эффективного осуществления производственной деятельности и предоставления услуг; обеспечения соответствия требованиям законодательства; оптимизации принятия решений; обеспечения защиты при про-

ведении судебных процессов, связанных с наличием или недостатком доказательств деятельности организации; сохранения корпоративной и коллективной памяти.

Документы СМК также предназначены для обеспечения необходимой информацией структурных подразделений; обеспечения взаимопонимания между персоналом; установления порядка выполнения работ; обеспечения основы для подготовки вновь нанимаемых сотрудников и необходимой переподготовки всего персонала организации; обеспечения прозрачной для поставщиков структуры требований; создание основы для проведения аудита СМК.

Требования к документированию СМК, а также к наличию документальных свидетельств деятельности организации установлены в п. 7.5 стандарта ISO 9001:2015. Однако, с выходом новой версии стандарта ISO 9001:2015 у специалистов по качеству возникают некоторые сложности с восприятием новой терминологии и структуры стандарта в части управления документацией. Именно поэтому разработка методических подходов к созданию и внедрению в деятельность организации процедур управления документированной информацией является актуальной задачей.

1. Состав документированной информации согласно ISO 9001:2015

Термин «документированная информация», упоминаемый в новой версии стандарта, применяется в отношении всех требований к документам. Если, например, в предыдущей версии ISO 9001:2008 использовались такие термины как «документ» или «документированные процедуры», «руководство по качеству» или «план качества», то в версии стандарта 2015 года установлены требования к «разработке, актуализации и применению документированной информации».

Что касается термина «запись», упоминаемого в ISO 9001:2008 и используемого для обозначения документов, необходимых для регистрации результатов деятельности организации и представления свидетельства ее соответствия установленным требованиям, то в версии ISO 9001:2015 используется требование «регистрировать и сохранять документированную информацию».

Однако, применение в организации привычных для нее терминов «документ» и «запись», а также «Руководство по качеству» не исключается и может быть реализовано в зависимости от установленных в организации правил идентификации документов.

Объем и состав документированной информации различных организаций может отличаться в зависимости от размера организации и вида ее деятельности, производимой продукции и оказываемых услуг, сложности процессов, и, безусловно, от компетентности сотрудников [5]. При этом, руководствуясь требованиями стандарта ISO 9001:2015, в организации при создании и функционировании СМК обязательно должна быть разработана и подлежать управлению информация, представленная в таблице 1.

Таблица 1

Элементы системы менеджмента качества, подлежащие документированию

Пункт стандарта	Информация, подлежащая документированию	Наименование документа (пример)
4.3	Область применения СМК, т.е. границы СМК и охватываемая ею деятельность	Руководство по качеству
4.4	Процессы, их входы и выходы; последовательность и взаимодействие; критерии и методы оценки; ресурсы; обязанности, ответственность и полномочия; риски и возможности	Стандарт организации, карта процесса, технологическая документация, реестр рисков
5.2	Политика в области качества	Политика в области качества

Пункт стандарта	Информация, подлежащая документированию	Наименование документа (пример)
6.2	Цели в области качества	Цели в области качества
7.1.5	Свидетельство пригодности ресурсов для мониторинга и измерения	Техническая документация на средства измерений, свидетельство о поверке
7.2	Компетентность лиц, выполняющих работу, которая оказывает влияние на результаты деятельности и результативность СМК	Должностная инструкция, сведения об образовании, обучении
7.5.3	Нормативная документация внешнего происхождения	Законодательные акты, нормативная техническая документация
8.1	Информация, необходимая для обеспечения уверенности в том, что процессы выполнялись так, как это было запланировано; для демонстрации соответствия продукции и услуг требованиям	Журналы регистрации, протоколы испытаний
8.2.3	Результаты анализа требований к продукции и услугам, анализ контракта	Подписи согласования на проекте договора
8.3.2	Планирование проектирования и разработки продукции	План проектирования и разработки
8.3.3	Входные данные для проектирования и разработки	Техническое задание, результаты предыдущих проектов, нормативная документация
8.3.4	Средства управления процессом проектирования и разработки	Протокол совещаний, промежуточные расчеты, протокол испытаний опытного образца, экспертное заключение
8.3.5	Выходные данные проектирования и разработки	Конструкторская, технологическая, рабочая, проектная документация [6]
8.3.6	Информация по: а) изменениям проектирования и разработки; б) результатам анализов; в) санкционированию изменений; г) действиям, предпринятым для предотвращения неблагоприятного влияния	Изменения к документации
8.4	Средства управления, применимые для процессов, продукции и услуг, критерии оценки, выбора, мониторинга результатов деятельности поставщиков	Информация о поставщиках, договора с поставщиками, методика выбора поставщиков, перечень одобренных поставщиков, стандарт организации «Водной контроль продукции», журнал входного контроля, рекламации и претензии в адрес поставщика
8.5.1	Информация, определяющая: а) характеристики производимой продукции, предоставляемых услуг или осуществляемой деятельности; б) результаты, которые должны быть достигнуты	Внешняя нормативная документация, стандарт организации на продукцию, технические условия, журналы контроля качества, сертификат соответствия, декларация о соответствии продукции требованиям
8.5.2	Идентификация и прослеживаемость для обеспечения соответствия продукции и услуг	Журналы контроля

Пункт стандарта	Информация, подлежащая документированию	Наименование документа (пример)
8.5.3	Идентификация, верификация, защита и сохранение собственности потребителя или внешнего поставщика, предоставленной для использования или включения в продукцию и услуги	Стандарты по хранению продукции, складированию, журналы регистрации условий хранения
8.5.6	Результаты анализа изменений, касающихся продукции, сведения о должностных лицах, санкционировавших внесение изменения, и все необходимые действия, являющиеся результатом анализа	Организационно-распорядительная документация
8.6	Информация о выпуске продукции и услуг, включая: свидетельства, демонстрирующие соответствие критериям приемки; прослеживаемость в отношении должностного лица (лиц), санкционировавшего(их) выпуск продукции и услуг	Журналы контроля качества, сертификат соответствия, декларация о соответствии продукции требованиям, организационно-распорядительная документация
8.7	Информация о несоответствиях, которая: описывает несоответствие, предпринятые действия, полученные разрешения на отклонение, а также указывает полномочный орган и/или лицо, принимавшее решение о действии в отношении несоответствия	Стандарт организации «Управление несоответствующей продукцией», журналы контроля, акт на брак
9.1.2	Удовлетворенность потребителей	Результаты опроса потребителей, отзывы потребителей, результаты анализа доли рынка, благодарности, претензии по гарантийным обязательствам и отчеты дилеров
9.2	Внутренний аудит	Стандарт организации «Внутренний аудит», годовой план аудита, программа аудита, чек-лист, акт о результатах аудита
9.3	Анализ со стороны руководства	Отчет об анализе СМК, протокол совещания по анализу СМК, план развития
10.2	Свидетельства характера выявленных несоответствий и последующих предпринятых действий; результатов всех корректирующих действий	Стандарт организации «Корректирующие действия», журнал регистрации корректирующих действий

2. Структура документации системы менеджмента качества

Структура взаимодействия документов СМК может быть составлена в виде иерархии, в которой каждый последующий уровень уточняет, но не дублирует предыдущий. Такое построение способствует внедрению, поддержанию в рабочем состоянии и лучшему пониманию персоналом требований к документации. В общем виде структуру внешней и внутренней документированной информации организации можно представить в виде схемы (рис. 1). Структура показывает значимость документов при переходе от верхнего уровня к нижнему. Это означает, что при разработке документов следует придерживаться правил:

- документ нижнего уровня не должен противоречить требованиям документов, занимающих верхние позиции;
- документы нижнего уровня не должны дублировать информацию, содержащуюся в документах, занимающих верхние позиции, а должны содержать ссылки на них.



Рис. 1. Структура внешней и внутренней документированной информации организации

Следует уточнить, что последовательность подготовки внутренней документации СМК в соответствии с представленной иерархической структурой не является обязательной, так как стандарты организации, устанавливающие порядок выполнения действий в рамках, например, одного раздела ISO 9001:2015, и рабочие инструкции часто разрабатывают до выпуска основного документа СМК – руководства по качеству [7].

В свою очередь применение организацией внешней нормативной документации на этапах жизненного цикла продукции (связь с потребителем, проектирование и разработка, подготовка производства, закупки, производство и обслуживание) осуществляется в целях повышения уровня безопасности; обеспечения конкурентоспособности; рационального использования ресурсов; совместимости и взаимозаменяемости средств; требований заказчиков; подтверждения соответствия продукции (работ, услуг); решения арбитражных споров; судебных решений; выполнения поставок. Поэтому при необходимости и в целях ограничения числа внутренней документации при ее разработке и актуализации следует включать ссылки на действующие внешние нормативные документы.

3. Этапы управления документированной информацией

Согласно требованиям стандарта документированная информация, указанная в таблице 1, должна находиться под управлением, для того, чтобы обеспечить ее доступность и пригодность для применения, а также достаточную защиту в целях соблю-

дения конфиденциальных сведений и предупреждения их потери. Для этого в организации должен быть разработан руководящий документ, устанавливающий порядок:

- распределения, обеспечения доступности использования и поиска документированной информации;
- хранения и защиты документации;
- актуализации и внесения изменений в документы;
- соблюдения сроков хранения и порядка уничтожения.

Этапом, предшествующим распределению и использованию документированной информации, является ее создание. Для этого на основе анализа функционирующих в организации процессов должно быть определено необходимое число документов СМК. При этом не стоит забывать, что документирование информации не должно быть самоцелью. Характер и степень документирования СМК во многом зависят от особенностей организации. Например, требования, устанавливаемые в документации, зависят от вида и характера продукции, сложности функционирования процессов, условий договоров, установленных нормативных требований, компетентности сотрудников. Например, документированная информация, необходимая для небольшого кафе, будет менее объемной, чем для организации – производителя автомобильных компонентов, к которому заказчики устанавливают специфические требования по подготовке и одобрению производства.

Документы СМК должны быть разработаны персоналом, вовлеченным в процессы и выполняемую деятельность. Это необходимо для обеспечения заинтересованности, а также лучшего понимания сотрудниками установленных требований внутренней документации. Как правило, для разработки документации приказом руководителя организации назначается группа разработчиков, определяется зона ответственности каждого члена группы и устанавливаются сроки этапов разработки.

Для создания документированной информации ответственные лица должны определить соответствующие способы идентификации документов, их формат и носитель, а также порядок утверждения и периодичность пересмотра. Документы СМК могут разрабатываться и распространяться для их применения в производственной деятельности в любой форме и на любом носителе. Организации могут работать в системе бумажных или электронных версий, принимая на себя ответственность за процедуры выпуска, пересмотра и управления.

Чаще всего документы разрабатываются на бумажных носителях. Но и у электронных документов есть свои преимущества. Например, электронный документооборот обеспечивает постоянный доступ персонала к актуализированной информации; легкость предоставления доступа к документам, внесения в них изменений и управления ими; доступ к документам удаленных подразделений и другие.

Разработка документов, как правило, ведется в три последовательно выполняемые стадии:

- 1) подготовка проекта, актуализация первой редакции документа и направление его на согласование с целью анализа в соответствующие заинтересованные подразделения;
- 2) обработка отзывов, подготовка окончательной редакции документа и утверждение;
- 3) идентификация, регистрация, направление в места применения, внесение изменений и изъятие устаревших документов.

Необходимость разработки документов и пересмотра существующих документов могут быть вызваны производственной необходимостью (изменения организационной структуры, существенные изменения в технологии изготовления продукции, разработка новых видов продукции или услуг), по результатам корректирующих действий или анализа рисков, пересмотром международных стандартов в области качества, по результатам аудитов первой, второй и третьей сторонами.

Для обозначения документов СМК в организации должна применяться система идентификации. Каждому документу, входящему в СМК, должен быть присвоен индивидуальный идентификационный номер, с помощью которого совокупность документов связывается в единую систему по таким признакам, как происхождение, назначение, область деятельности. Идентификационные номера документов СМК используются при ссылках на них.

До выпуска документы должны поступить на согласование заинтересованным лицам организации с целью контроля ясности, точности и правильности их изложения и построения. Выпускаемые документы должны быть утверждены руководителем организации или лицом, на которого возложена такая ответственность.

При рассылке документов следует обеспечить их поступление к персоналу, которому для его работы необходима данная документированная информация. Правильной рассылке и управлению документацией может, например, способствовать присвоение учетных номеров каждому экземпляру документов.

Представитель руководства в области качества или другое ответственное за управление документацией лицо может выдавать документацию руководителям подразделений и специалистам под роспись в журнале учета и выдачи документации. Регистрация в журнале осуществляется в том случае, если в организации отсутствует система электронного документооборота, обеспечивающая регистрацию и учет выдаваемых документов на рабочие места.

На экземплярах документов, предназначенных для тендеров, сторонних пользователей или других внешних сторон должны быть сделаны соответствующие отметки, например, «Об изменениях не сообщается» или «Для справок». Все поступающие или разработанные документы должны направляться в соответствующие подразделения для централизованного учета и хранения контрольных экземпляров. Каждой копии на бумажном носителе присваивается индивидуальный порядковый номер экземпляра копии и проставляется штамп «Учетный экз. N__», указывающий на то, что данная копия подлежит абонентному обслуживанию (актуализации, внесению изменений и т.п.). На неучтенных экземплярах документации устанавливается штамп или запись от руки «Экземпляр для справок».

Управление документацией также включает доступность, распределение и защиту, например, от потери, неправильного использования и непреднамеренных изменений.

С целью предотвращения использования устаревших документов, в каждом подразделении может быть составлен перечень действующих нормативных документов, утвержденный руководителем организации и актуализируемый, например, один раз в год.

Особое внимание должно быть уделено управлению конфиденциальными данными. Цель обеспечения конфиденциальности и защиты состоит в сохранении интеллектуальной собственности организации, так как все документы СМК, за исключением Руководства по качеству, являются документами внутреннего пользования и не должны предоставляться сторонним организациям без разрешения руководства. Если документация применяется как свидетельство соответствия, например, качества и безопасности продукции (записи), то она должна быть защищена от непреднамеренного внесения в нее изменений. Это можно сделать многими способами, включая электронные системы с правом только на чтение и особые разрешения для доступа к разным уровням, защиту паролем или идентифицированным входом [8].

Внесение изменений в стандарты организации, инструкции, регламенты, как правило, санкционируется представителем руководства в области качества. При этом внесение изменений должно проходить ту же процедуру рассмотрения и утверждения, что и при первоначальной разработке документов. Любое изменение в документе, вызывающее какие-либо изменения в других документах, сопровождается внесением соответствующих изменений во все взаимосвязанные документы.

При получении сведений из внешних официальных источников о замене или отмене (аннулировании) нормативного документа учтенные копии изымаются из подразделений и снимаются с учета.

На аннулированные документы ставится штамп «Аннулирован, заменен на». При необходимости наличия на рабочем месте исполнителя аннулированного документа, для предотвращения его непреднамеренного использования, ставится штамп или делается надпись от руки «Экземпляр для справок».

Документы, пришедшие в негодность, например, по причине загрязнения, порчи, утери листов, изымаются из обращения и уничтожаются.

Отмена (аннулирование) документов может осуществляться в следующих случаях:

- пересмотр документа;
- изменения организационной структуры, технологии производства, номенклатуры выпускаемой продукции;
- выявление необходимости объединения нескольких действующих документов в один или разделение одного документа на несколько с целью более полной детализации установленных требований;
- изменение вида документа (например, перевод инструкции в стандарт или наоборот);
- в других обоснованных случаях.

Отмененный документ изымается из обращения, утилизируется или передается в архив для хранения в течение определенного периода. При хранении отмененной документированной информации должна обеспечиваться ее защита и сохранение разборчивости. Это вызвано такой необходимостью как, например, расследование претензий спустя годы после производства может потребовать данных о подтверждении соответствия продукции установленным на момент ее производства требованиям. Сроки хранения для документированной информации могут быть правовым требованием, договорным требованием или могут быть определены организацией (в зависимости от срока службы ее продукции или услуги). Сроки хранения документов, образующихся в процессе деятельности организаций, определяются в соответствии с Приказом Министерства культуры РФ от 25 августа 2010 г. № 558 [9].

4. Управление свидетельствами соответствия (записями)

Документированная информация, регистрируемая и сохраняемая в качестве свидетельств соответствия (записи), например, протоколы испытаний, журналы контроля и др., должна быть защищена от непредумышленных изменений. Запись – это документ, содержащий достигнутые результаты или свидетельства осуществленной деятельности.

Записи, осуществляемые в процессе жизненного цикла продукции, могут быть в любой форме и на любом носителе. Записи могут иметь носитель в виде бумаги, компьютерного файла, дискеты, диска, фотографии. Они не подлежат редактированию или пересмотру. Наличие и сохранение их в организации служит свидетельством функционирования СМК как для руководства организации, так и для внешних аудиторов.

Основная задача управления записями состоит в том, чтобы обеспечить сохранность и удобство поиска нужной информации о результатах процессов. Записи ведутся и поддерживаются в рабочем состоянии для получения доказательств соответствия продукции установленным требованиям и эффективности действия СМК на всех этапах жизненного цикла продукции.

Формы бланков документов для ведения записей по качеству, порядок их заполнения и ответственность за заполнение могут быть установлены в стандартах организации и инструкциях.

Подлинность и достоверность всех данных о качестве должна заверяться подписью с расшифровкой фамилии лица, отвечающего за внесение данных о качестве.

Корректировка ошибок в документах, содержащих записи по качеству, производится лицом, отвечающим за сбор данных. Каждая корректировка заверяется датой и подписью лица, ее проводившего и руководителя подразделения, где эти данные собираются.

Записи по качеству хранятся в подразделениях, где они собираются. Условия хранения документов в подразделении должны обеспечивать их сохранность, отсутствие повреждений и предотвращение порчи в течении всего срока хранения.

Восстановление данных о качестве в случае утраты их бумажных копий может производиться из электронной базы данных.

Доступ к записям предоставляется с разрешения руководителей подразделений, ответственных за их хранение. Предоставление доступа потребителям и поставщикам к документам, содержащим записи по качеству, производится в соответствии с требованиями договора (контракта).

Основные этапы управления записями представлены в таблице 2 [10].

Таблица 2

Этапы и средства управления записями

№ п/п	Этап управления	Средства управления
1	Формирование	
1.1	Определение того, какие записи, когда и как должны быть сформированы	
1.1.1	Определение потребности в информации	Все операционные, отчетные данные о процессах организации должны систематически выявляться и документироваться
1.1.2	Определение требований	Требования к формированию, обобщению и учету записей должны определяться на основании законодательных и иных требований
1.1.3	Формирование достоверных записей	Записи должны формироваться на момент (или вскоре после) выполнения операции, к которой они относятся
1.1.4	Определение сроков хранения	Должен быть разработан руководящий документ, устанавливающий порядок определения сроков хранения записей согласно требованиям
2	Управление	
2.1	Определение того, какая информация должна быть сформирована на основе записей и как она будет управляться с течением времени	
2.1.1	Регистрация	Для процессов, требующих свидетельство сбора данных, должен быть разработан руководящий документ, устанавливающий порядок регистрации записей путем присвоения им индивидуального номера и даты создания
2.2	Установление правил и условий для использования записей с течением времени	
2.2.1	Разработка правил доступа	Должны быть определены правила доступа к записям
2.2.2	Реализация правил доступа	Правила доступа должны реализовываться в системах записей путем присвоения статуса доступа как записям, так и исполнителям
2.3	Сохранение применимости записей с течением времени	
2.3.1	Сохранение целостности	Должен быть определен порядок обеспечения целостности и защиты записей и предотвращения несанкционированного использования, внесения изменений, изъятия, сокрытия и (или) уничтожения
2.3.2	Обеспечение доступности и полноценности	Должен быть определен порядок обеспечения доступности и полноценности цифровых записей с течением времени

№ п/п	Этап управления	Средства управления
2.4	Осуществление санкционированного изъятия записей из обращения	
2.4.1	Осуществление изъятия из обращения	Должен быть определен порядок анализа, санкционирования и реализации решений относительно сохранения и изъятия записей из обращения по каждому рабочему процессу
2.4.2	Передача	Должен быть определен порядок санкционированной и контролируемой передачи записей другой организации
2.4.4	Сохранение информации об уничтоженных записях	В тех случаях, когда характер и сложность деятельности и официальное ведение учета требуют этого, должна сохраняться информация (регистрация, идентификация и хронологические метаданные) о записях, которые были уничтожены

Заключение

Согласно положениям и требованиям отечественных и мировых стандартов ISO, подход к документированию СМК должен осуществляться тщательно и подробно. Это необходимо выполнять для того, чтобы СМК оставалась понятной не только для тех, кто ее разрабатывал, но и для сторонних организаций: поставщиков, потребителей, органов контроля. Стоит отметить, что основной задачей, стоящей документированием СМК, является создание нормативной и организационно-методической основы для разработки, внедрения и нормального функционирования в организации СМК, которая бы в полной мере соответствовала требованиям стандартов ISO 9000.

Определение состава и структуры документации СМК является наиболее принципиальным вопросом общего документирования. Ввиду наличия достаточных преимуществ документирования процессов СМК не стоит забывать и об их информационном сопровождении. И это подразумевает применение инновационно-информационных технологий, как системы поддержки принятия решений, включающей интерактивные системы информатизации по осуществлению поддержки, охватывающей основные стадии управления документацией [11].

Следует так же учитывать, что большинство организаций, как правило, не имеют ни опыта разработки документации СМК, ни собственно специалистов по стандартизации и качеству. Поэтому при организации производства следует особое внимание уделить подбору квалифицированного персонала, в частности инженеров по стандартизации и качеству, задачами которых станет решение проблем по применению и разработке нормативных документов, в том числе документов СМК.

Список литературы:

- [1] Kevin McCormack. Business process orientation: Do you have it? // Quality Progress; Jan 2001; 34, 1; ABI/INFORM Global.
- [2] ISO 9001:2015 «Quality management systems – Requirements».
- [3] Сатаева Д.М. Стандарты организации в системе управления качеством [Электронный ресурс] : учебное пособие / Д.М. Сатаева, О. Крайнова. – Электрон. текстовые данные. – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. – 49 с. – 978-5-4486-0036-4. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/71590.html>.
- [4] Крайнова О.С. Управление предприятиями в сфере информационных технологий: логистический подход / Германия, 2011.
- [5] Павлова Л.В. Обеспечение качества продукции посредством применения стандартов организаций // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 2. – С. 79–83. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/570019.htm>.
- [6] Павлова Л. В., Шарыгина О. С. Стандартизация системы разработки конструкторской документации: проблемы и пути решения // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2016. – Т. 2. – С. 516–520. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/46122.htm>.

- [7] ISO/TR 10013:2001 «Guidelines for quality management system documentation».
- [8] Порсев К.И., Иванова В.А., Есаулов Н.П. Стандартизация систем электронного документооборота // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2017. № 6. С. 73–76.
- [9] Приказ Министерства культуры РФ от 25 августа 2010 г. № 558 «Об утверждении Перечня типовых управленческих архивных документов, образующихся в процессе деятельности государственных органов, органов местного самоуправления и организаций, с указанием сроков хранения».
- [10] Методика «Разработка системы менеджмента качества» [Электронный ресурс] <http://www.businessstudio.ru>.
- [11] Крайнова О.С. Поиск технологий маркетинг-логистики для целей сорсинга в цепи поставок. В сборнике: Экономика, право, образование: региональный аспект. сборник научных трудов XI межвузовской научно-практической конференции. 2017. С. 47–52.

DOCUMENTED INFORMATION MANAGEMENT: ISO 9001:2015 BASED APPROACH

D.M. Sataeva

Key words: ISO 9001:2015, document, record, information, quality management, standard, management.

The article defines the elements of the quality management system to be documented; the structure of the organization documented information is developed; the procedure for ISO 9001:2015 requirements implementation with regard to external and internal documentation is defined, including the certificates of organization activity conformity (records).

Статья поступила в редакцию 09.04.2018 г.

УДК 336.226.11

А.В. Телегус, кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой ФГБОУ ДПО «Приволжский институт повышения квалификации ФНС России», 603950, г. Нижний Новгород, ул. Грузинская, 48.

М.В. Кручинин, кандидат педагогических наук, доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ТРАНСПОРТНЫЕ РАСХОДЫ ПРИ КОМАНДИРОВАНИИ СОТРУДНИКОВ: ПРАВОВЫЕ И НАЛОГОВЫЕ АСПЕКТЫ ПО НДФЛ

Ключевые слова: командировка, транспортные расходы, налог на доходы физических лиц

Командирование сотрудников – одна из сторон экономической деятельности любых организаций, в т.ч. и занимающихся транспортными перевозками. На практике встречаются ситуации, четкое правовое регулирование которых в нормативных актах не установлено, либо вступает в противоречие с положениями гл. 23 Налогового кодекса РФ «Налог на доходы физических лиц», что может затронуть их финансовые интересы. В статье рассмотрены отдельные проблемы, возникающие у правоприменителей, связанные с возмещением расходов на проезд командированным лицам.

Общие основы командирования работников изложены в ст. 166, 168 Трудового кодекса, а также в Положении об особенностях направления работников в служебные командировки¹ (далее – Положение № 749). В соответствии со ст. 166 ТК РФ служебная командировка – поездка работника по распоряжению работодателя на определенный срок для выполнения служебного поручения вне места постоянной работы.

1. В связи с вышеизложенным на практике часто возникает вопрос: *необходимо ли оформлять командировку, если работник направляется на объект, расположенный в том же городе, что и рабочее место работника*²?

Исходя из положений ст. 57 ТК РФ следует, в трудовом договоре в обязательном порядке должны содержаться условия о месте работы, а если работник работает в обособленном структурном подразделении организации, которое находится в иной местности, то необходимо также указать его местонахождение.

В ТК РФ не содержится точного определения термина «место работы». Как правило, исходя из теоретических предпосылок под местом работы понимается находящаяся в населенном пункте организация/обособленное структурное подразделение.

Если работник трудится в структурном подразделении, то место его работы определяется по месту нахождения такого структурного подразделения³. На основании изложенного отдельные правоприменители полагают, что командировка оформляется при направлении работника в служебную поездку вне места расположения организации (в т.ч. и в том же городе)⁴.

Однако, на наш взгляд, данная точка зрения ошибочна. Пунктом 3 Положения № 749 определено, что место постоянной работы – место расположения организации (обособленного подразделения организации), работа в которой обусловлена трудовым договором.

Согласно разъяснениям ВС РФ под другой местностью надлежит понимать местность, находящуюся за пределами административно-территориальных границ соответствующего населенного пункта⁵.

Следовательно, выезд работника для выполнения служебного поручения на иной объект города, в котором непосредственно находится организация-работодатель (то есть в черте этого же населенного пункта), не является командировкой. Данную поездку возможно квалифицировать в качестве служебной поездки, а работнику надлежит выплатить соответствующие суммы возмещения расходов на служебные поездки (ст. 168.1 ТК РФ), не облагаемые НДФЛ.

2. Также возникает вопрос *о необходимости возмещения командированному работнику расходов на проезд в местах пересадок, например, проезд между железнодорожными вокзалами при следовании из г. Н. Новгорода в г. Петрозаводск через г. Москву*?

Из абз. 12 п. 3 ст. 217 НК РФ следует, что при возмещении работникам расходов на командировки не облагаются НДФЛ расходы на проезд в аэропорт или на вокзал в местах отправления, назначения или пересадок. Однако аналогичная норма в Положении № 749 отсутствует.

В силу п. 12 Положения № 749 в расходы на проезд включаются затраты на проезд транспортом общего пользования к станции и от станции, если они находятся за чертой населенного пункта (при документальном их подтверждении).

¹ Утв. Постановлением Правительства РФ от 13.10.2008 № 749.

² Разъяснение в СПС «КонсультантПлюс-финансист» от 22.05.2014 № 136897.

³ Обзор Верховного Суда РФ от 26.02.2014.

⁴ <https://paruscbp.ru/poleznaya-informaciya/komandirovki-razbiraem-neodnoznachnye-situatsii.html>; <https://www.kdelo.ru/qa/136801-qkss8-kak-oformit-komandirovku-v-predelah-odnogo-goroda>; (дата обращения – 26.02.2018).

⁵ Пункт 16 Постановления Пленума Верховного Суда РФ от 17.03.2004 № 2 «О применении судами Российской Федерации Трудового кодекса Российской Федерации».

Не может быть опровергнут тот факт, что железнодорожные вокзалы г. Москвы находятся за чертой населенного пункта, в котором расположен работодатель – командировавшая организация. Учитывая изложенное, документально подтвержденные расходы на проезд до места назначения, в том числе расходы на проезд на вокзалы в местах пересадок, подлежат безусловному возмещению работнику.

3. Недостатки в правовой регламентации присутствуют и в следующей ситуации – *оплата проезда командированному лицу непосредственно до места расположения организации в населенном пункте*, например, когда работник направлен в организацию, расположенную в г. Санкт-Петербурге, но на значительном удалении от железнодорожного вокзала прибытия.

Некоторые правоприменители считают, что в рассматриваемом случае местом назначения признается г. Санкт-Петербург, где и расположен железнодорожный вокзал, на который прибыл сотрудник, а оснований для возмещения ему иных транспортных расходов, например, по проезду непосредственно к месторасположению организации, в которую командирован работник, не имеется.

В п. 12 Положения № 749 предусмотрено возмещение работнику расходов по проезду к месту командировки и обратно к месту постоянной работы, при этом не конкретизируется, что следует понимать под «местом командировки»?

В силу п. 3 Положения № 749 работники направляются в командировки на основании письменного решения работодателя на определенный срок для выполнения служебного поручения вне места постоянной работы.

Несмотря на то, что с 08.01.2015 обязанность оформления работодателем командировочного удостоверения для командированного работника отсутствует¹, в настоящее время работодателями продолжает применяться на практике унифицированная форма № Т-10 «Командировочное удостоверение» и унифицированная форма № Т-10а «Служебное задание»², которые содержат реквизит «Место назначения», где должны быть указаны страна, город, организация (т.е. одно место назначения)³.

Неоспоримо, что в служебную командировку сотрудник направляется исключительно в интересах работодателя и в его интересах⁴, а на работодателя возлагается обязанность по оплате проезда как к месту командирования, так и обратно⁵.

Из анализа нормативных актов в области командирования следует, что сотрудник командировается не в конкретный населенный пункт (в г. Санкт-Петербург), а в конкретную организацию, что влечет за собой обязанность работодателя обеспечить его проезд к месту командировки, в частности, на метро, включая проезд и от железнодорожного вокзала до непосредственно места расположения организации, стоимость которого не облагается НДФЛ в качестве оплаты проезда до места назначения.

Также следует обратить внимание на то, что российское законодательство, в т.ч. ТК РФ, не содержит ограничений по видам транспортных средств, используемых командированными сотрудниками⁶. В каждом конкретном случае выбор транспортного средства и маршрута следования зависит от многих факторов финансовых и временных приоритетов, существующей сети транспортного сообщения⁷, например, не облагается НДФЛ стоимость проезда работника по платным автодорогам, поскольку представляет собой целевые расходы на проезд и изначально производится в интересах работодателя, но не работника⁸.

¹ Письмо Минфина России от 08.05.2015 № 03-03-06/1/26918.

² Утв. Постановлением Госкомстата России от 05.01.2004 № 1.

³ См. также п. 1 Письма Минтруда России от 14.02.2013 № 14-2-291.

⁴ Решение ВАС РФ от 26.01.2005 № 16141/04.

⁵ Решение Верховного Суда РФ от 04.03.2005 № ГКПИ05-147.

⁶ Письма Минфина России от 27.06.2012 № 03-04-06/6-180, от 25.04.2012 № 03-04-05/9-549, от 28.09.2011 № 03-04-06/6-241, от 14.12.2011 № 02-03-11/5594.

⁷ Постановление ФАС Поволжского округа от 23.06.2011 по делу № А57-15925/2008.

⁸ Постановление ФАС Московского округа от 07.10.2002 № КА-А40/6482-02.

4. В связи с отменой обязательного применения командировочного удостоверения возникает вопрос: *при направлении работника в командировку на транспорте организации (т.е. без проездных документов) каким образом подтверждается срок его нахождения в командировке?*

По общему правилу, установленному п. 7 Положения № 749, период нахождения работника в месте командирования определяется по проездным документам, которые он представляет работодателю после командировки. Однако в указанном нормативном акте не установлены какие-либо правила определения периода нахождения работника в командировке, если он использует не личный, а служебный транспорт организации.

На наш взгляд, в отсутствие специальных правовых норм, регулирующих соответствующие отношения, работодателю следует руководствоваться упомянутым п. 7 Положения № 749: это означает, что при проезде работника к месту командирования (и обратно) на служебном транспорте организации фактический период нахождения в месте командирования должен быть отражен в служебной записке, направляемой работодателю с оправдательными документами, которая подтверждает использование транспорта для целей командирования (чеки ККТ, путевый листы, квитанции и т.п.).

Что касается ситуации, когда работник использует личный автомобиль для поездки в командировку, то необходимо заметить, что исходя из положений ч. 1 ст. 1, ч. 1 ст. 6 Устава автомобильного транспорта¹, п. 5 Обязательных реквизитов и порядка заполнения путевых листов² законодательством в области оказания транспортных услуг не предусмотрено оформление путевых листов при использовании для служебных поездок личных автомобилей работников³, соответственно, у работодателя не возникает безусловной обязанности по оформлению в таких случаях путевых листов.

Вместе с тем в целях подтверждения его нахождения в командировке следует произвести оформление путевого листа в отношении личного автомобиля работника, поскольку это напрямую предусмотрено абз. 2 п. 7 Положения № 749.

5. Обратим внимание на режим налогообложения *оплаты командированному работнику услуг зала повышенной комфортности (VIP-зала) аэропорта отправления (железнодорожной станции)*.

Как отмечалось, из абз. 12 п. 3 ст. 217 НК РФ следует, что не облагаются НДФЛ целевые расходы на проезд до места командирования и обратно, сборы за услуги аэропортов, комиссионные сборы.

Ранее существовала позиция, согласно которой плата за услуги аэропорта по предоставлению VIP-зала не являлась обязательным платежом, а соответствующие расходы по оплате услуг таких не являются командировочными расходами и подлежат налогообложению НДФЛ в общеустановленном порядке⁴.

Тем не менее МНС России указывало, что сумма оплаты по пользованию VIP-залом, производимая на основании положения о командировании, действующем в организации, не включается в налоговую базу по НДФЛ работников⁵.

Позднее Минфин России, рассматривая данную проблематику, пришел к выводу, что п. 3 ст. 217 НК РФ не содержит ограничений в отношении порядка проезда работ-

¹ Федеральный закон от 08.11.2007 № 259-ФЗ «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта».

² Утверждены Приказом Минтранса России от 18.09.2008 № 152.

³ Постановление ФАС Московского округа от 19.12.2011 по делу №А40-152815/10-116-694.

⁴ Письма Минфина России от 06.09.2007 № 03-05-06-01/99, от 28.12.2006 № 03-05-01-04/346, Постановления ФАС Восточно-Сибирского округа от 07.07.2011 № А33-9347/2010, ФАС Поволжского округа от 17.01.2008 № А65-1734/2007-СА2-11.

⁵ Письмо МНС России от 23.07.2003 № 04-2-07/510-Я358.

ника к месту командирования, а расходы по оплате услуг бизнес-зала в аэропорту относятся к расходам сотрудников на проезд до места назначения и не подлежат налогообложению НДС¹ (отражение такого подхода можно найти и в судебной практике²) [3]. Полагаем, что следует согласиться с указанным подходом, уточнив при этом, что такая оплата в смысле п. 3 ст. 217 НК РФ осуществляется в качестве возмещения сбора за услуги аэропорта.

6. Отдельные правоприменители используют для проезда к месту командирования железнодорожный транспорт – вагоны повышенной комфортности, в которых, в частности, предоставляется набор услуг, например, питания [4].

В связи с этим возникают *вопросы о возможности возмещения командированному лицу стоимости оплаты питания, включенного в стоимость проезда на железнодорожном транспорте (код в ж/д билете – У1, У2...)*.

В данном случае надлежит учитывать, что п. 33 Правил оказания услуг по перевозкам на железнодорожном транспорте пассажиров³ устанавливает обязанность по обеспечению пассажира платным сервисным обслуживанием, стоимость которого включается в стоимость проезда. Согласно п. 3 Порядка предоставления пассажирам комплекса услуг⁴ при приобретении ж/д билета пассажир оплачивает стоимость проезда, в состав которой включается стоимость услуг в вагонах повышенной комфортности, в частности, питания, предоставление предметов санитарно-гигиенического назначения, печатной продукции и др.

Таким образом, работнику должна быть возмещена полная стоимость проезда (включая стоимость сервисных услуг по питанию), которая в полном объеме не облагается НДС⁵.

7. Рассмотрим один из самых проблемных вопросов, решение которого не урегулировано на законодательном уровне – *необходимо ли наличие посадочного талона для оплаты перелета командированного работника к месту назначения?*

Официальные органы, отдельные судебные инстанции высказывали мнение о том, что для оплаты расходов по проезду к месту командирования и обратно работником предоставляется посадочный талон⁶. Аналогичной точки зрения придерживаются и некоторые исследователи [5, 6].

Из п. 12, 26 Положения № 749 фактические расходы по проезду к месту командировки возмещаются командированному при наличии документов (билетов), подтверждающих эти расходы. Приказами Минтранса от 29.01.2008 № 15, от 08.11.2006 № 134 утверждены формы пассажирского билета и багажной квитанции, в которых не имеется каких-либо данных о посадочных талонах. Также не имеется правил о том, что билеты являются действительными лишь при наличии посадочного талона. Таким образом, отсутствие посадочного талона не является препятствием для возмещения расходов работнику за приобретенный им авиабилет [7].

¹ Письма Минфина России 25.10.2013 № 03-04-06/45215, от 20.09.2013 № 03-04-06/39125, от 15.08.2013 № 03-04-06/33238.

² Постановления ФАС Северо-Западного округа от 25.04.2013 № А42-7726/2011 и от 04.10.2006 № А56-29773/2005, ФАС Московского округа от 10.02.2011 № КА-А40/18048-10 и от 14.09.2010 № КА-А40/10158-10.

³ Утверждены Постановлением Правительства РФ от 02.03.2005 № 111.

⁴ Утвержден Приказом Минтранса России от 09.07.2007 № 89.

⁵ Постановление Четырнадцатого арбитражного апелляционного суда от 01.08.2011 по делу № А13-7622/2010, письмо Минфина России от 16.10.2007 № 03-04-07-02/51.

⁶ См., например, письма Минтруда России от 11.03.2016 № 18-4/ООГ-396 (п. 5), от 08.10.2015 № 18-04/ООГ-1670, постановления АС ВСО от 15.06.2017 № Ф02-1943/2017 по делу № А33-19958/2011, от 23.01.2015 № Ф02-6239/2014 по делу № А78-3578/2010, АС ПО от 13.10.2016 № Ф06-23432/2015 по делу № А57-10281/2014, АС СКО от 13.05.2015 № Ф08-2553/2015 по делу № А63-839/2014, ФАС УО от 25.10.2013 № Ф09-11046/13 по делу № А47-10866/2012, Девятнадцатого ААС от 05.06.2015 по делу № А64-901/2013.

Соответственно, наличие посадочного талона для целей возмещения расходов работнику по проезду к месту командирования, подтвержденных авиабилетом, не требуется¹, и такие расходы по авиаперелету к месту командирования и обратно, подтвержденные авиабилетами, подлежат безусловному возмещению и не подлежат налогообложению НДФЛ².

В заключении отметим, что анализ вышеприведенных нормативно-правовых актов, позиций судебных инстанций и официальных органов свидетельствует о том, трудовое законодательство РФ по вопросам командирования весьма неоднозначно и требует дальнейшего совершенствования, в т.ч. и гармонизации с нормами налогового права. Как отмечала Н.В. Халдеева, одним из процессов, позволяющих сохранить необходимое соотношение единства и дифференциации, является унификация правовых норм. т. е. устранение неоправданных различий в регулировании труда, выравнивание правового положения отдельных работников на более льготной основе без снижения правовых гарантий, устранение неоправданных либо устаревших оснований для дифференциации [8].

Список литературы:

- [1] Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018).
- [2] Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 05.08.2000 № 117-ФЗ (ред. от 19.02.2018).
- [3] Орлова Е. Служебные командировки: последние разъяснения контролирующих органов и судов // Налоговый вестник. – 2016. – № 5. – С. 23–37.
- [4] Ефимова Г.Н. Специфика и проблемы сервиса на железных дорогах // Современные проблемы сервиса и туризма. – 2010. – № 1. – С. 51–57.
- [5] Солдатова Л.И. Совершенствование документооборота при оформлении командировки // Интернет-журнал Науковедение. 2014. №6 (25). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-dokumentoooborota-pri-oformlenii-komandirovki> (дата обращения: 25.04.2018).
- [6] Анохина А.Н., Золотарёва Г.И. Аудит документального оформления расходов организации на приобретение электронного авиабилета // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – № 7. – С. 160–161.
- [7] Синельникова Т.С., Мельникова Е.В. Порядок возмещения работнику бюджетного учреждения расходов на служебную командировку // Бухгалтерский учет в бюджетных и некоммерческих организациях. – 2014. – № 10. – С. 20–23.
- [8] Халдеева Н.В. Единство и дифференциация правового регулирования труда / Н.В. Халдеева // Трудовое право. – 2003. – № 4. – С. 51–55.

BUSINESS TRIP TRAVEL EXPENSES: LEGAL AND TAX ASPECTS OF PERSONAL INCOME TAXATION

A.V. Telegus, M.V. Kruchinin

Key words: business trip, travel expenses, personal income tax.

Staff travel is one of the sides of the economic activity of any organization, including the one engaged in transportation. There are situations when clear legal regulation is not defined in normative acts, or there is a contradiction with the provisions of Chapter 23 of the Russian Federation Tax Code «Personal Income Tax», which may affect financial interests. The article deals with some problems concerning travel expenses reimbursement, which law enforcers face.

¹ Постановления ФАС МО от 24.05.2013 по делу № А41-24525/11, ФАС ДВО от 27.12.2013 № Ф03-6510/2013, Седьмого ААС от 26.02.2014 по делу № А45-16088/2013, Двенадцатого ААС от 12.04.2013 по делу № А06-6070/2011, Апелляционное определение Красноярского краевого суда от 06.05.2013 по делу № 33-4078/2013.

² Письмо Минфина России от 06.03.2012 № 03-04-06/3-57.

А.В. Телегус, М.В. Кручинин

Транспортные расходы при командировании сотрудников: правовые и налоговые аспекты...

Статья поступила в редакцию 24.04.2018 г.

Раздел III

**Экономика, логистика, управление
на транспорте**



Section III

***Economics, logistics and transport
management***

УДК 656.62

Г.В. Веселов, д.э.н., профессор ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

М.В. Иванов, к.э.н., доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

В.И. Минеев, д.э.н., советник при ректорате ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

С.Г. Митрошин, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДОТИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ВОДНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В ПРИВОЛЖСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ

Ключевые слова: пассажирские перевозки, транспортная доступность, скоростные суда, субсидирование водного транспорта

В статье анализируется необходимость использования скоростного водного транспорта с целью повышения транспортной доступности для населения Российской Федерации. Рассмотрен вопрос дотирования пассажирских речных перевозок в современных условиях.

Скорость перевозок грузов и пассажиров характеризует технический уровень развития любой страны мира, а также является одним из ключевых факторов повышения транспортной связанности территорий и мобильности населения. В свою очередь мобильность населения отражает собой основной продукт функционирования транспортной системы - обеспечение транспортной доступности. [1, 2]

Временные затраты для пассажиров являются не менее значимым индикатором доступности транспорта, чем стоимость поездки. [3, 4] Поэтому с появлением на Волге в середине прошлого столетия высокоскоростных судов на подводных крыльях (СПК) и на воздушной подушке (СВП), обладающих скоростью движения от 60 до 120 км/час, пассажиры с водоизмещающих судов местных линий (скорость 16–18 км/час) практически полностью переключились на новый флот, несмотря на рост стоимости проезда почти в 2,5 раза. Следует отметить, что высокоскоростные суда сняли значительный пассажиропоток с транзитных линий протяженностью до 400 км.

К началу 80-х годов прошлого века на речных судах перевозилось почти 124 млн. человек, из них более 25% являлись пассажирами СПК или СВП. Регулярным высокоскоростным сообщением были связаны все крупнейшие города и районные центры от Москвы до Астрахани.

С перестройкой экономических отношений в стране качество транспортного обслуживания жителей приречных городов и малонаселенных пунктов в Волжско-Камском бассейне значительно снизилось из-за свертывания работы скоростных судов на подводных крыльях типа «Ракета», «Метеор», «Восход» и др.

Основной причиной прекращения скоростных пассажирских перевозок явилась их низкая рентабельность. Следует отметить, что в СССР убытки от организации пассажирских перевозок судоходные компании покрывали за счет прибыли от перевозок грузов. Однако дробление крупных пароходств на множество независимых транспортных предприятий привело к тому, что новые владельцы скоростного флота в отсутствие источников покрытия убытков от перевозок населения стали отказываться от организации пассажирских линий, в том числе скоростных.

Вместе с тем, растущая потребность в обеспечении транспортной доступности для населения определила необходимость дотирования государством на федеральном или местном уровне пассажирских перевозок на всех остальных видах транспорта: железнодорожном, авиационном и автомобильном. При этом самый экономичный вид

транспорта – водный оказался без дотирования, за исключением единичных скоростных линий в ряде городов Поволжья и Северо-Запада.

Известно, что основные расходы на всех видах транспорта связаны с энергопотреблением. По данным Российской академии транспорта затраты энергии на 1 ткм на водном транспорте в три раза меньше, чем на наземном, и в десятки раз меньше, чем на воздушном транспорте (табл. 1).

Таблица 1

Энергопотребление транспортных средств

Вид транспорта	Энергопотребление транспортных средств, кг/ткм	
	Отечественные	Зарубежные
Наземный	0,03	0,018
Водный	0,01	0,005
Воздушный	0,50	0,22

Кроме того, только водный транспорт имеет естественные пути сообщения, которые могут использоваться для надежного обслуживания населения приречных населенных пунктов, в том числе круглогодично при постановке на маршруты СВП амфибийного типа. Эти пути являются кратчайшими для населенных пунктов, расположенных на противоположных берегах рек и, особенно, водохранилищ Волжско-Камского бассейна.

В то же время использование автомобильного транспорта является весьма капиталоемким способом решения проблемы транспортной связанности берегов рек и водоемов, поскольку требует огромных затрат на строительство, содержание и ремонт автодорог и мостовых переходов.

Расходы федерального бюджета на ремонт и содержание автодорог, а также объемы перевозок автотранспортом за период с 2010 по 2016 гг. приведены на рис. 1.

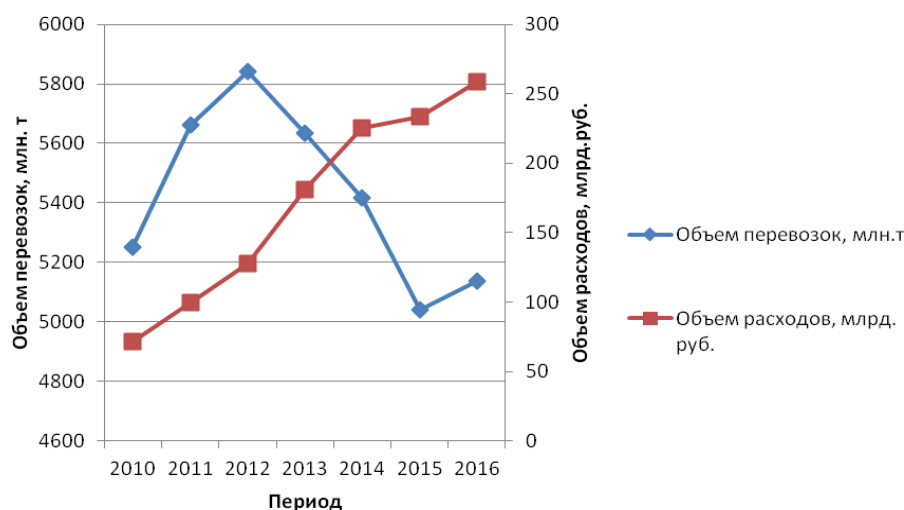


Рис. 1. Соотношение объема перевозок автотранспортом и расходов федерального бюджета на ремонт и содержание дорог

Анализ данных, приведенных на рис. 1, показывает, что объем расходов на ремонт и содержание дорог имеет устойчивую тенденцию ежегодного роста, при этом объем перевозок, начиная с 2012 года, снизился на 704 млн. тонн.

Удельные расходы федерального бюджета на ремонт и содержание федеральных дорог (рис. 2) имеют негативную тенденцию непрерывного ежегодного роста. За шесть лет они выросли более, чем в три раза. Общие расходы за период с 2010 по 2016 годы на ремонт и содержание автодорог составили свыше триллиона рублей.

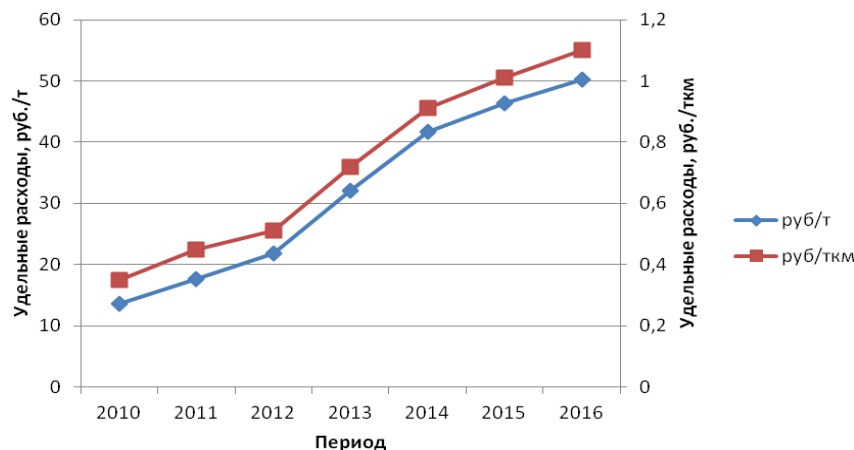


Рис. 2. Удельные расходы федерального бюджета на ремонт и содержание автодорог

Пассажирооборот автотранспорта общего пользования увеличился за этот период всего на 12,5%.

Министерством транспорта Российской Федерации в докладе «О результатах в 2014 году и основных направлениях деятельности Министерства транспорта РФ на 2015–2017 годы» одна из основных целей развития транспортной системы России на период до 2030 года была определена как обеспечение доступности и качества транспортных услуг для населения. Однако достижение данной цели предусматривается решением задач по формированию в стране единой дорожной сети круглогодичной доступности для населения. [5, 6]

Выше отмечалось, что на ремонт и обслуживание только федеральных автодорог ежегодно расходуются сотни миллиардов рублей. Протяженность же автодорог федерального значения всего 27548 км. Прирост количества сельских населенных пунктов с постоянной круглогодичной связью с сетью автодорог общего пользования с твердым покрытием составляет всего 142-232 сельских пункта в год, при этом без круглогодичной транспортной доступности в России остается около 40 тыс. населенных пунктов. Поэтому для решения задачи по обеспечению транспортной доступности населения недостаточно только расширение автодорожной сети. Необходимо привлекать и стимулировать более экономичный и менее энергозатратный водный транспорт с современными судами. [2]

Следует отметить, что все виды социально значимых пассажирских перевозок, как в России, так и зарубежом убыточны. Государства дотируют такие перевозки, покрывая убытки (рис. 3)

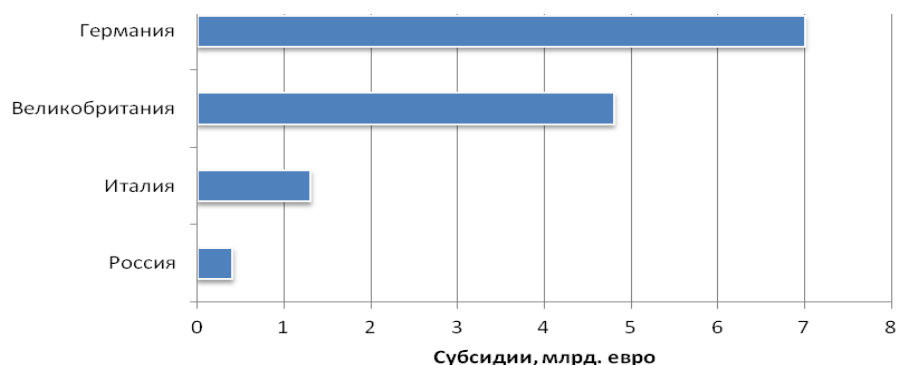


Рис. 3. Субсидирование пассажирских железнодорожных перевозок.
 (Источник: Институт проблем ценообразования и регулирования
 естественных монополий НИУ ВШЭ)

В России на содержание железнодорожного, авиационного и автомобильного транспорта государством выделяются огромные денежные средства. По данным Министерства экономического развития РФ, субсидирование воздушного транспорта в 2015 году выросло до 25,9 миллиарда рублей, железнодорожного – до 9,1 миллиарда. При этом в пересчете на одного пассажира, перевезенного по железной дороге, размер господдержки составляет 400 рублей; на самолете – несколько тысяч. Жители приречных населенных пунктов, не всегда располагающих приведенными выше видами транспортного сообщения, не имеют таких льгот на внутреннем водном транспорте.

Таблица 2

**Среднее расстояние перевозок пассажиров
 в России основными видами транспорта**

Виды транспорта	Пассажирооборот, млн. пкм	Объем перевозок, млн. чел.	Среднее расстояние перевозок, км
Водный	522	12,6	41,1
Воздушный	241400	93,2	2590,1
Железнодорожный	128600	1068,3	120,4
Автомобильный (автобусный)	117460	11177,2	10,5

Среднее расстояние перевозок пассажиров на водном транспорте составляет всего 40 км, что свидетельствует о том, что водным транспортом пользуется в основном население пригородных населенных пунктов (табл. 2), однако льгот на приобретение проездных билетов на речные суда они не имеют, при этом на использование автобусного сообщения для них выделяются льготы. Такая ситуация создает заведомо неравные условия конкуренции на рынке транспортных услуг для компаний, ставящих перед собой задачу организовать высокоскоростные водные пассажирские перевозки.

Очевидно, что в ситуации, когда темпы развития пассажирских перевозок на наземном и воздушном транспорте недостаточны для удовлетворения постоянно растущего спроса на соответствующие транспортные услуги [7], необходимо обеспечить государственную поддержку перевозок скоростными судами с целью возвращения на реки пассажирских маршрутов и, таким образом, задействования водного транспорта в решении проблемы повышения транспортной доступности для населения. Кроме

того, речь должна вестись о полноправном включении водного транспорта наряду с другими видами в процессы планирования развития транспортных комплексов городов и регионов, что позволит в дальнейшем создать «диверсифицированные транспортные системы», с одной стороны, расширяющие географию перевозок, с другой – стремящиеся избежать высокой концентрации трафика на конкретном направлении и конкретном виде транспорта. [8, 9] Приволжский федеральный округ как административное образование, расположенное в Волжско-Камском бассейне, и совокупность экономически тесно связанных между собой регионов имеет все предпосылки для применения такого подхода к планированию транспортной деятельности.

В этой связи при установлении размеров государственной поддержки различных видов транспорта актуальным становится решение задачи определения рациональных сфер использования различных видов транспорта и, соответственно, экономически обоснованных размеров дотаций, субсидий.

Список литературы:

- [1] Hansen W.G. How accessibility shapes land use // Journal of American institute of planners. – 1959. – Vol.35. – No.2. – pp. 10–44.
- [2] Иванов М.В. Развитие транспортной инфраструктуры региона: факторы, направления, инструментарий оценки: Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук по специальности 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством: региональная экономика // Нижний Новгород, 2016, 196 с. – URL: http://www.science.vsu.ru/dissertations/2974/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%98%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2_%D0%9C.%D0%92..pdf
- [3] Schurmann C., Spiekermann K., Wegener M. Accessibility Indicators. Deliverable D5 of Project Socio-Economic and Spatial Impacts of Transport Infrastructure Investments and Transport System Improvements (SASI) commissioned by the General Directorate VII (Transport) of the European Commission as part of the 4th Framework Programme of Research and Technology Development // The Institute of Spatial Planning of the University of Dortmund, 1997. – 102 p.
- [4] Wegener M. SASI Model Description // Spiekermann & Wegener Urban and Regional Research, Dortmund, 2008. – 49 p.
- [5] Доклад о результатах в 2014 году и основных направлениях деятельности Министерства транспорта Российской Федерации на 2015–2017 годы // Материалы итогового расширенного заседания коллегии Министерства транспорта Российской Федерации 08.04.2015 – URL: <https://www.mintrans.ru/file/45397>
- [6] Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 2.11.2008 г. № 1734-р; в ред. от 12.05.2018 – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902132678>
- [7] Обзор российского транспортного сектора в 2016 году // КПИМГ в России и СНГ, 2017 – URL: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/ru/pdf/2017/04/ru-ru-transport-survey.pdf>
- [8] Ruske K.-D., Kauschke P., Reuter J., von der Gracht H., Gnatzy T., Darkow I.-L. Transportation & Logistics 2030, Volume 2: Transport infrastructure – Engine or hand brake for global supply chains? // PricewaterhouseCoopers, 2010 – URL: https://www.pwc.com/gx/en/transportation-logistics/tl2030/infrastructure/pdf/tl2030_v2_transport-infrastructure.pdf
- [9] Smith J., Clayton E., Hanson D. Building sustainable, inclusive transportation systems: A framework for the future // PricewaterhouseCoopers, 2017 – URL: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/assets/pwc-building-sustainable-inclusive-transportation-systems.pdf>

EXPEDIENCY SUBSTANTIATION OF SUBSIDIZING OF THE HIGH-SPEED WATER PASSENGER TRANSPORTATION IN THE PRIVOLZHISKY FEDERAL DISTRICT

G.V. Veselov, M.V. Ivanov, V.I. Mineyev, S.G. Mitroshin

Keywords: *passenger transportations, transport accessibility, high-speed vessels, subsidizing of water transport*

The article analyzes the necessity of using high-speed water transport to increase the transport accessibility for the population of the Russian Federation. The issue of subsidizing passenger river transportations in modern conditions is considered.

Статья поступила в редакцию 21.05.2018 г.

УДК 656.62

Н.А. Жаворонков, аспирант ФГБОУ ВО «МГАВТ»

Е.В. Зарецкая, к.э.н., доцент ФГБОУ ВО «МГАВТ»

117105, г. Москва, ул. Новоданиловская набережная, 2 к.1.

С.Г. Митрошин, к.т.н., начальник УНИИД, доцент, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ С УЧАСТИЕМ ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА КАК ОДНОГО ИЗ КЛЮЧЕВЫХ ИНТЕГРИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ключевые слова: паромно-транспортная логистическая система, высокотарифицированные грузы, транспортный и внетранспортный эффекты.

В статье рассматривается технико-технологический подход к организации мультимодальной транспортировки высокотарифицированных грузов с участием внутреннего водного транспорта (ВВТ). Приводится методика, позволяющая рассчитать параметры, определяющие транспортный и внетранспортный эффекты в результате участия ключевых интегрирующих звеньев в паромно-транспортной логистической системе (ПТЛС).

Перспективы участия ВВТ в перевозках высокотарифицированных грузов

В настоящее время не вызывает сомнения необходимость вовлечения ВВТ в мультимодальные схемы доставки не только традиционных для него массовых, но и высокотарифицированных грузов, в том числе за счёт переключения грузопотоков с наземных видов транспорта и включения речных участков в существующие транспортные маршруты.

Опыт советского периода России и европейских стран свидетельствует о том, что участие ВВТ в транспортных схемах способствует снижению стоимости доставки, сокращению экологического ущерба, повышению безопасности, оптимизации нагрузки на транспортную инфраструктуру, сохранению дорожного полотна и гармоничному развитию транспортного комплекса в целом [1].

Результатом многолетней работы широкого круга специалистов транспортной отрасли, собравших весомую доказательную базу в защиту вышеизложенного тезиса, стал комплекс важнейших для развития ВВТ решений Правительства Российской Федерации. Ряд решений, направленных на сокращение экологического ущерба от транспортного комплекса и создание современных конкурентоспособных транспортных технологий, дал свои результаты. В частности, это внедрение системы «Платон» и принятие законов №305-ФЗ от 07.11.2011 (ред. от 03.07.2016), №164-ФЗ от 29.10.1998 (ред. от 16.10.2017), №39-ФЗ от 25.02.1999 (ред. от 26.07.2017), Постановление Правительства РФ от 27 апреля 2017 г. № 502, которые стали практическими

инструментами, позволившими реализовать важнейшие проекты по модернизации и развитию транспортной инфраструктуры [2–7].

Активизация строительства новых речных судов позволила вернуть на реку некоторую часть традиционных для неё массовых грузов. Однако в настоящее время на долю ВВТ сегодня в общем объеме погрузки и грузооборота всех видов транспорта приходится менее 1,5%. При этом доля грузов, отправленных в крупнотоннажных контейнерах водным транспортом, в общем объеме отправленных грузов в стране составляет 0,2 %. Для сравнения, доля речных перевозок в европейских странах в грузообороте всех видов транспорта в среднем превышает 10% (например, в Германии – 11%, Нидерландах – 34%, Франции – 10%). при устойчивой тенденции роста за счёт грузов в контейнерах [8].

Такая ситуация не соответствует задачам, обозначенным в дорожных картах развития транспортной отрасли, предусматривающей гораздо большую степень участия ВВТ в перевозках высокорентабельных грузов, в том числе на транзитных маршрутах и маршрутах, тяготеющих к международным транспортным коридорам (см. рис. 1).

Создание Нижегородского и Багаевского низконапорных гидроузлов	
Целевое финансирование работ по содержанию и развитию инфраструктуры ВВП	
Возмещение части затрат на уплату процентов по кредитам на приобретение судов, а также на уплату лизинговых платежей	
Возмещение части затрат на приобретение новых судов взамен судов, сданных на утилизацию	
Увеличение доли ВВТ в контейнерном потоке между морскими портами Балтийского и Азово-Черноморского бассейнов и регионами ЕГС европейской части РФ до 9%.	
Увеличение доли перевозок контейнеров в общем объеме перевозок ВВТ 6,3%.	
Увеличение доли высокорентабельных грузов в структуре грузовой базы внутреннего водного транспорта до 27%	
Переключение грузопотоков с автомобильного транспорта в объеме 8,7 млн. тонн, а с железной дороги – 14 млн. тонн.	
Рост объема перевозок грузов ВВТ на 36,1% по отношению к 2018 году Рост грузооборота ВВТ на 40,1% по отношению к 2018 году	
2020 год	2030 год

Рис. 1. Некоторые ключевые аспекты развития ВВТ [1,9,10]

Следует заметить, что увеличение доли высокотарифицированных грузов и грузов в контейнерах в объёме речных перевозок является важнейшим индикатором гармоничного развития транспортной системы региона в соответствии с тенденциями мирового транспортного рынка.

Устойчивыми же тенденциями последних десятилетий во всём мире является развитие интермодальных транспортных технологий на основе контейнерных и контрейлерных перевозок, обеспечивающих оптимальное сочетание достоинств каждого вида транспорта, объединяемых в транспортно-технологические системы. Такой подход способствует устранению конкуренции между видами транспорта, а за счёт использования новых технических возможностей позволяет нивелировать недостатки и умножить достоинства каждого из них.

Интеграция вместо конкуренции

Как известно, с технологической точки зрения традиционная смешанная (мультимодальная) перевозка предполагает последовательную транспортировку груза несколькими видами транспорта. Как правило, на начальном и конечном этапах – автомобильным или железнодорожным транспортом, обеспечивая доставку от двери отправителя до двери получателя, а на промежуточном, наиболее протяжённом участке, – водным, снижая за счёт этого стоимость перевозки.

Интермодальная схема является более прогрессивной транспортной технологией и подразумевает перевозку товара несколькими видами транспорта в унифицированной грузовой единице (УГЕ), например, в контейнере или автотрейлере. На начальном этапе (плече) участвует, как правило, автомобильный транспорт, а далее в доставке грузовой единицы, автомобильного прицепа или полуприцепа (с тягачом или без него) или съёмного кузова на промежуточном этапе (плече) участвует другой вид транспорта (железнодорожный, речной или морской).

Такой способ позволяет сократить расходы и время на погрузо-разгрузочные операции, упростить перевозку в части оформления, оптимально использовать грузоподъёмность и грузовместимость транспортных средств, сократить их простои, повысить сохранность перевозимых грузов. Это, в свою очередь, позволяет предложить большому числу грузовладельцев, предъявляющих сегодня к перевозке многочисленные, но незначительные по объёму отправки, понятную и простую транспортную схему с достаточным уровнем логистического сервиса.

На реке интермодальные схемы доставки нашли отражение во множестве технологических решений. В своё время были исследованы многочисленные варианты организации контейнерных и контрейлерных линий. Рассматривались технологии с использованием как самоходных судов, так и барже-буксирных составов с вертикальной загрузкой для перевозки контейнеров. Также прорабатывались варианты с горизонтальной загрузкой, в том числе посредством барж, оборудованных специальными аппаратами и судов накатного типа (ро-ро) для транспортировки различных вариантов грузового автотранспорта.

Однако на практике эти технологии реализуются, в основном, на незначительных по расстоянию маршрутах в качестве переправ и в местах с отсутствующими альтернативами. В других же случаях грузовладельцы, как правило, из-за устоявшегося стереотипа в отношении речного транспорта как низкоэффективного с точки зрения скорости движения и уровня предоставляемого сервиса, предпочитают другие варианты доставки.

В качестве инновационного технического решения, по многочисленным мнениям, способного изменить ситуацию, специалистами КБ «Вымпел» и учёными ВГУВТ и МГАВТ, был разработан проект большегрузного скоростного судна типа «Транзит». Это судно с горизонтальной грузообработкой, предназначенное для перемещения автопоездов, контейнеров и любых видов генеральных грузов по внутренним водным путям, а также прибрежным морским участкам. Проект представляет собой концепцию двухпалубного скоростного парома-катамарана, вместимостью до 120 автопоездов и возможностью размещения такого же количества пассажиров с достаточной степенью комфорта (см. рис. 2).



Рис. 2. Судно с горизонтальной грузообработкой, предназначенное для перемещения автопоездов, контейнеров и любых видов генеральных грузов по внутренним водным путям

Экономическая целесообразность строительства таких судов рассматривалась на примере «Холдинговой компании «Логопром» для действующих грузовых маршрутов. Прорабатывалась возможность перевозки готовых легковых автомобилей совместно с автовозами на маршрутах, соединяющих крупнейшие автозаводы и дилерские центры европейской части России, а также перевозка различных генеральных грузов, следующих в транспортном коридоре «Север–Юг».

Все расчёты показали высокую эффективность использования скоростных паромов на участках водных путей, идущих параллельно перегруженным автомагистралям в сравнении с традиционным подходом. Применение паромных ролкерных технологий существенно сокращает расходы за счёт грузовых операций, сроки доставки и капитальные вложения в дорогостоящее перегрузочное оборудование и портовую инфраструктуру. При практиковавшихся ранее технологиях перевозки генеральных грузов наиболее важным был объём трюмов, а при накатной системе на первое место выступает площадь палуб, на которых можно парковать большое количество автомобилей на собственных колёсах или контейнеров на полуприцепах.

Произошедшие в последнее время изменения географии и характера грузопотоков поставили под сомнение наличие достаточного объёма готовых легковых автомобилей или другого однородного грузопотока на постоянной основе. Кроме того, сегодня консолидация генеральных грузов и грузов в УГЕ в количестве, необходимом для формирования судовой партии осуществляется с участием крупных экспедиторов, которые и формируют схему доставки, предъявляя определённые требования к уровню логистического сервиса участвующих в ней перевозчиков.

По мнению авторов, наиболее перспективным с точки зрения повышения уровня логистического сервиса на ВВТ, представляется организация работы скоростных паромов параллельно наиболее загруженным автотрассам в режиме работающей по расписанию линии с несколькими портами захода, аналогично морскому линейному сообщению.

Такая линия позволит встроиться в действующие автомобильные транспортные схемы, создав маршрут транспортировки грузов в УГЕ от двери до двери по водному дублёру с заранее известными сроками и стоимостью доставки. Это, в свою очередь, не только обеспечит конкурентоспособный уровень транспортного обслуживания, но и превратит речную судоходную компанию в оператора мультимодальной перевозки, сделав его ключевым интегрирующим элементом паромно-транспортной логистической системы (ПТЛС). Кроме того, объединение в систему вокруг её ключевого, с точки зрения технологии перевозки, элемента помимо сокращения стоимости доставки и повышения её качества позволит получить дополнительный внетранспортный (синергический) эффект.

В рассматриваемом случае наиболее очевидным будет сокращение негативного воздействия на экологию и нагрузки на транспортную инфраструктуру за счёт перевозки грузового автотранспорта по водным дублёрам.

Вместе с тем, отсутствие достаточно разработанного теоретического обоснования преимущества интеграционного подхода к организации перевозки высокотарифицированных грузов с участием ВВТ требует доработки существующих методик оценки эффективности работы ПТЛС, в том числе на основе системного и комплексного подхода с учётом внетранспортных эффектов.

Архитектура и методы оценки целесообразности создания ПТЛС

Паромно-транспортная грузопассажирская скоростная линия является технологической системой, включающей в себя совокупность подсистем (автомобильной, водной и береговой). В свою очередь, подсистемы состоят из элементов: судов-паромов, грузовых автопоездов, мультимодальных терминальных комплексов, причальных гидротехнических сооружений и т.д.

Основными субъектами системы являются:

1. Судоходная компания, эксплуатирующая срочные грузопассажирские линии (СК);
2. Автотранспортное предприятие, выступающее транспортным оператором или экспедитором, формирующее грузопотоки из УГЕ (АК);
3. Грузовладельцы – компании, выступающие заказчиками транспортных услуг (Г);
4. Федеральные, региональные и муниципальные территориальные образования, по которым проходит маршрут ПТЛС (ФРМО).

Кроме того, в систему входят вспомогательные компоненты, напрямую не участвующие в транспортном процессе, но содействующие созданию скоростного сообщения, например, предоставление инвестиционных ресурсов, обеспечение условий эффективной организации транспортных линий и эксплуатации подвижного состава.

Совокупность элементов, субъектов, компонентов и собственно самой ПТЛС как объекта способствует получению как транспортного (ТЭС), так и внетранспортного эффекта системы (ВТЭС).

Под ТЭС работы ПТЛС следует понимать изменение основных критериев конкурентоспособности (срок и стоимость перевозки) по сравнению с прямым (мономодальным) автомобильным сообщением. Проблематичность использования двух разноразмерных критериев можно преодолеть путем приведения критерия времени к стоимостному выражению. В качестве коэффициента приведения в данном случае можно принять штраф за задержку доставки груза автопоездом по i -му маршруту автотранспортом по сравнению с ПТЛС. В этом случае ТЭС в рублях может быть рассчитан по формуле:

$$ТЭС = \Delta T + \Delta t * R_{\text{штр.}}, \quad (1)$$

где ΔT – изменение тарифа, руб.;

Δt – изменение времени доставки, руб.;
 $R_{штр.}$ – коэффициент приведения, 0,09.

$$\Delta T = T_{AKi} - T_{CKiv}, \quad (2)$$

$$\Delta t = t_{AKi} - t_{CKiv}, \quad (3)$$

где T_{AKi} , T_{CKiv} – тарифы доставки груза в объёме одного автопоезда по i -му маршруту автотранспортом и v -м судном ПТЛС, руб.

t_{AKiv} , t_{CKiv} – время доставки груза в объёме одного автопоезда по i -му маршруту автотранспортом и v -м судном ПТЛС, сут.

Очевидно, что значительные выгоды от ввода новых транспортных сообщений и развития действующих линий не отражаются на финансовых результатах её участников, и, следовательно, не учитываются. Например, величина внетранспортных эффектов, связанных с получением социального эффекта от улучшения перевозочного процесса, развития прилегающих территорий, дополнительных рабочих мест, оживления предпринимательской активности и пр., существенно превышает транспортный эффект [11].

Величина ВТЭС в рублях может быть определена по формуле:

$$ВТЭС_{iv} = Э_{из.дор.iv} + Э_{эколог.ущ.iv} + Э_{доп.раб} + Э_{разв.терр. iv}, \quad (4)$$

где $Э_{из.дор.iv}$ – сумма сокращения износа дорожного полотна из-за снятия автопоездов и их транспортировки v -тым типом судна по i -му маршруту, руб.;

$Э_{эколог.ущ.iv}$ – сокращение экологического ущерба от снятия с дорог, параллельных работе v -му типу судна работающему на i -м маршруте автотранспорта, руб.;

$Э_{доп.рабiv}$ – дополнительные поступления в региональные бюджеты налогов с фонда оплаты труда за счёт создания дополнительных рабочих мест, руб.;

$Э_{разв.терр. iv}$ – минимальный внетранспортный эффект, получаемый прилегающими территориями за счёт создания и работы ПЛС на i -м маршруте, руб.

Ниже приведены формулы расчета составляющих ВТЭС:

$$Э_{из.дор.iv} = Ц_{дор} * P / 100, \quad (5)$$

где $Ц_{дор}$ – стоимость дорожной одежды, руб.;

P – износ дорожной одежды с учётом интенсивности дорожного движения, мм;

$$P = 100 * h / H, \%, \quad (6)$$

где h – износ дорожной одежды с учётом интенсивности дорожного движения, %;

H – нормативная толщина дорожной одежды, мм;

$$h = a + b * N_{iv}, \quad (7)$$

где a, b – эмпирические территориальные коэффициенты износа дорожной одежды;

N_{iv} – количество автомобилей в год (за навигацию, снятых с дорог, параллельных работе v -му типу судна работающему на i -м маршруте);

$$Э_{эколог.ущ.iv} = Y_{AKiv} - Y_{CKiv}, \quad (8)$$

где Y_{AKiv} , Y_{CKiv} – ущерб от выбросов CO_2 соответственно от работы v -того типа судна и автомобильного транспорта на i -м маршруте, руб.;

$$Y_{AKiv} = k_3 * M_{CO_2AKiv} * N_t, \quad (9)$$

$$Y_{CKiv} = k_3 * M_{CO_2CKiv} * N_t, \quad (10)$$

$$M_{CO_2} = q * N * t * 0,9 * 10^{-6}, \quad (11)$$

Где M_{CO_2} – масса выбросов соответственно от автомобильного и внутренне водного транспорта, т/час;

q – удельный расход топлива в двигателе, г/кВт*ч;

N – мощность двигателя, кВт;

t – время работы двигателя, ч;

0,9 – 90% выбросов в эквиваленте от потребляемого топлива;

10^{-6} – переводной коэффициент из грамм в тонны;

k_3 – экологический коэффициент инфляции;

N_t – норматив платы за выбросы CO_2 ; для дизельного топлива 21 руб./т;

Следует заметить, что приведённый алгоритм расчета $\mathcal{E}_{\text{эколог.ущ.}iv}$ далеко не в полной мере отражает уровень экологического ущерба, учитывая только фактор выброса CO_2 . Отсутствие единой методики расчёта экологического ущерба (по некоторым оценкам он доходит до 1,5–2% ВВП) и главное, механизма его взыскания означает, что в современных условиях экологический фактор не может быть определяющим.

$$\mathcal{E}_{\text{доп.раб}iv} = I_{CKCH}, \quad (12)$$

где $I_{CKCH\ iv}$ – налоги с фонда оплаты труда экипажа, работающего на v -ом типе судна i -го маршрута;

$$\mathcal{E}_{\text{разв.терр.}iv} = TЭС * K, \quad (13)$$

где $\mathcal{E}_{\text{разв.терр.}iv}$ – минимальный внетранспортный эффект, получаемый прилегающими территориями за счёт создания и работы ПЛС на i -м маршруте, руб.;

K – коэффициент, учитывающий минимальный внетранспортный эффект, $K=4$.

Рассматриваемая ПТЛС может функционировать только при выполнении определённых условий (ограничений), основными из которых являются:

1. Получение каждым участником ПТЛС дохода, достаточного для покрытия издержек (включая первоначальные капитальные затраты) и получения прибыли.

$$D_{CKiv} \geq I_{CKiv} (1+R), \quad (14)$$

$$D_{AKiv} \geq I_{AKiv} (1+R), \quad (15)$$

где D_{CKiv} – доход судоходной компании от работы v -го типа судна на i -й линии;

I_{CKiv} , I_{AKiv} – издержки соответственно судоходной компании (включая обслуживание и выплату кредита) при работе v -го типа судна на i -й линии и автомобильной компании при работе с включением в маршрут v -го типа судна на i -й линии, руб.;

R – уровень рентабельности соответственно судоходной компании от работы v -го типа судна на i -й линии и автомобильной компании от работы с включением в маршрут v -го типа судна на i -й линии, руб.

2. Издержки автомобильной компании при включении в маршрут срочной линии не превышают или равнозначны издержкам на таком же маршруте без участия в ПТЛС.

$$I_{\text{ПТЛС}}^{\text{AKiv}} \leq I_{\text{безПТЛС}}^{\text{AKiv}}, \quad (16)$$

где $I_{\text{ПТЛС}}^{\text{AKiv}}$, $I_{\text{безПТЛС}}^{\text{AKiv}}$ – соответственно издержки автомобильной компании при работе с включением в маршрут v -го типа судна на i -й линии и от работы без участия в ПТЛС, руб.

3. Транспортный эффект системы (ТЭС), выражающийся в сокращении издержек грузовладельца с учётом временного фактора в денежном выражении должен быть как можно больше

$$ТЭС_{iv} \rightarrow \max, \quad (17)$$

$$И_{Гiv}^{ПТЛС} \leq И_{Гiv}^{БезПТЛС}, \quad (18)$$

где $И_{Гiv}^{ПТЛС}$, $И_{Гiv}^{БезПТЛС}$ – соответственно издержки грузовладельца при транспортировке груза с включением в маршрут автопоезда v -го типа судна на i -й линии и без участия в ПТЛС на аналогичном маршруте, руб.

4. Для государственного бюджета (федерального, регионального, муниципального) расходы на софинансирование приобретения судов ($К_{кред}$), недополучение выплат по системе «Платон» ($И_{ПЛiv}$) не должны превышать сумму сокращения износа дорожного полотна ($Э_{из.дор.iv}$), экологического ущерба ($Э_{эколог.ущ.iv}$), увеличения поступлений налогов от дополнительных рабочих мест ($Э_{доп.раб}$) и других внетранспортных эффектов ($Э_{разв.терр.iv}$).

$$И_{ФРМОiv} \leq ВТЭС_{iv}, \quad (19)$$

где $И_{ФРМОiv}$ – расходы и недополучение средств государственным бюджетом из-за создания и работы ПТЛС, руб.;

$ВТЭС_{iv}$ – внетранспортный эффект от работы ПТЛС, руб.

$$И_{ФРМОiv} = К_{кред} * \frac{2}{3} + И_{ПЛiv}, \quad (20)$$

где $К_{кред} * \frac{2}{3}$ – возврат $\frac{2}{3}$ стоимости кредита на строительство флота в соответствии с ФЗ № , руб.;

$И_{ПЛiv}$ – платежи в федеральный бюджет за ущерб дорожному покрытию в соответствии с взимаемые по системе «Платон», руб. [2,7]

Таким образом, ограничениями работы ПТЛС, рассматриваемыми в рамках данной математической модели являются:

$$\left\{ \begin{array}{l} Д_{СКiv} \geq И_{СКiv} (1+R) \\ Д_{АКiv} \geq И_{АКiv} (1+R) \\ И_{Гiv}^{ПТЛС} \leq И_{Гiv}^{БезПТЛС} \\ И_{АКiv}^{ПТЛС} \leq И_{АКiv}^{БезПТЛС} \\ И_{ФРМОiv} \leq ВТЭС_{iv} \end{array} \right.$$

а функцией цели: $ТЭС_{iv} \rightarrow \max$

Как видно, в данной модели помимо оценочных показателей эффектов, получаемых производителями и пользователями транспортных услуг, значительное место отводится государству, выступающему четвёртым ключевым элементом системы и основным выгодоприобретателем её внетранспортных эффектов. Так как решение вопросов снижения вредного воздействия на экологию, повышения безопасности, оптимальной нагрузки на транспортную инфраструктуру, сохранения дорожного полотна и, наконец, снижения транспортной составляющей в цене товара являются важнейшими государственными проблемами, проект, способствующий их решению, должен реализовываться на стыке интересов бизнеса и государства.

Рассматриваемая модель отражает комплексный подход, позволяя сопоставить уровень притока и оттока бюджетных средств, связанных с созданием и работой

ПТЛС. Превышение получаемых эффектов над расходами является убедительным доводом в пользу активного содействия её создания.

Такой подход не противоречит рыночным принципам, так как риски и издержки по созданию и эксплуатации паромных линий возлагаются на частные транспортные предприятия, работающие в конкурентной среде. Но руководство отрасли, имея инструменты для соблюдения паритета всех участников транспортного рынка в соответствии с задекларированными целями и задачами отрасли, должно ими пользоваться.

Список литературы:

- [1] Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (в редакции распоряжения Правительства Российской Федерации от 11 июня 2014 г. № 1032-р). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION_ID=2203. Дата обращения: 05.03.2018.
- [2] Федеральный закон от 06.04. 2011 г. № 68-ФЗ (ред. от 14.12.2015) «О внесении изменений в Бюджетный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации». [Электронный ресурс]. <http://www.consultant.ru>. Дата обращения: 05.03.2018.
- [3] Федеральный закон от 07.11.2011 № 305-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с реализацией мер государственной поддержки судостроения и судоходства». [Электронный ресурс]. <http://www.consultant.ru>. Дата обращения: 05.03.2018.
- [4] Федеральный закон от 29.10.1998 N 164-ФЗ (ред. от 16.10.2017) «О финансовой аренде (лизинге)». [Электронный ресурс]. <http://www.consultant.ru>. Дата обращения: 05.03.2018.
- [5] Федеральный закон от 25.02.1999 N 39-ФЗ (ред. от 26.07.2017) «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений». [Электронный ресурс]. <http://www.consultant.ru>. Дата обращения: 05.03.2018.
- [6] Распоряжение Правительства РФ от 29.08.2014 № 1662-р (ред. от 22.01.2018) «О заключении концессионного соглашения в отношении объектов, предназначенных для взимания платы, используемых в целях обеспечения функционирования системы взимания платы в счёт возмещения вреда, причиняемого автомобильным дорогам общего пользования федерального значения транспортными средствами, имеющими разрешённую максимальную массу свыше 12 тонн». [Электронный ресурс]. <http://www.consultant.ru>. Дата обращения: 05.03.2018.
- [7] Постановление Правительства РФ от 27.04.2017 № 502 «Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета российским организациям на возмещение части затрат на приобретение (строительство) новых гражданских судов взамен судов, сданных на утилизацию». [Электронный ресурс]. <http://www.consultant.ru>. Дата обращения: 05.03.2018.
- [8] Обзор российского транспортного сектора в 2016 году. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/ru/pdf/2017/04/ru-ru-transport-survey.pdf>. Дата обращения: 05.03.2018.
- [9] Перечень поручений по итогам заседания президиума Госсовета по вопросу развития внутренних водных путей, состоявшегося 15 августа 2016 года. [Электронный ресурс]: Режим доступа: www.kremlin.ru/catalog/keywords/89/events/52871. Дата обращения: 05.03.2018.
- [10] Распоряжение Правительства РФ от 29.02.2016 № 327-р «О Стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года». [Электронный ресурс]. <http://www.consultant.ru>. Дата обращения: 05.03.2018.
- [11] Аникеева-Науменко Л.О. Методы повышения эффективности использования вагонов грузового парка на железнодорожном транспорте: диссертация на соиск.уч.степ. канд. Эконом. наук: 08.00.05. – МИИТ. – Москва, 2014. – 190 с.

TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MULTIMODAL SYSTEMS WITH THE PARTICIPATION OF INLAND WATERWAY TRANSPORT AS ONE OF THE KEY INTEGRATING ELEMENTS

N.A. Zhavoronkov, E.V. Zaretskaya, S.G. Mitroshin

Key words: ferry transport logistics system, high margin cargo, transport and non-transport effects.

The article deals with the technical and technological approach to the organization of multimodal transportation of high-value cargoes with the participation of inland water transport (IWT). A methodology is given that allows to calculate the parameters determining the transport and non-transport effects as a result of participation of key integrating links in the ferry transport logistics system (FTLS).

Статья поступила в редакцию 22.03.2018 г.

УДК 656(470.53)

П.В. Задровский, директор Пермского ф-ла ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

О.Н. Фролова, к.э.н., доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ АНАЛИЗА ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ)

Ключевые слова: методология анализа тенденций, транспортный комплекс региона, прогноз показателей по видам транспорта.

В статье развивается методологический аспект анализа тенденций развития транспортного комплекса региона, приведены расчеты прогнозов показателей деятельности видов транспорта по аналитическим функциям трендов и выбор прогнозных значений с применением теории математического ожидания. Приводится вывод по результатам анализа необходимости сбалансированного развития всех видов транспорта в региональном транспортном комплексе.

В Российской Федерации транспортные коммуникации объединяют все регионы страны: масштаб территорий, особенность климатических условий, структура реального сектора экономики, позволяют говорить о важной роли транспортного комплекса страны в целом и ее регионов в частности. Государство на современном этапе занимают активную позицию в развитии транспортного комплекса России, практически во всех регионах страны приняты законодательные акты по развитию транспорта (программы, стратегии и т.п.). Региональные программы развития транспортных комплексов базируются на анализе текущего состояния и определения тенденций на перспективу. Именно методологический аспект анализа приобретает свою значимость для транспортного комплекса каждого региона.

Ряд авторов в публикациях посвященных анализу тенденций развития транспортного комплекса страны уделяет внимание анализу рядов динамики показателей перевозок грузов и грузообороту по каждому виду транспорта за исследуемый период времени [11]. Далее, по результатам анализа, делается вывод об изменении рассматриваемых показателей по видам транспорта во времени, применяя относительные величины динамики.

Некоторые авторы проводят сравнительный анализ тенденций развития транспортного комплекса России и конкретных регионов, рассматривая ряды динамики абсолютных и относительных показателей транспортной деятельности на базе статистических данных за исследуемый временной период [2, 4]. Выводы, основанные на результатах анализа, базируются на сравнении рассматриваемых показателей в России и в конкретном регионе в целом и по каждому виду транспорта в обозначенный временной период, применяя относительные величины динамики.

Говоря о зарубежных подходах к анализу тенденций развития транспортного комплекса важно рассмотреть представленные аналитиками KPMG результаты анализа в Обзорах Российского транспортного сектора в 2016 году и в 2017 году [7, 8]. В рассматриваемых обзорах по каждому виду транспорта представлена своя методика анализа, где за основу приняты статистические показатели деятельности того или иного вида транспорта, результаты анализа представлены на графиках в абсолютных и относительных величинах динамики. Помимо этого, для обоснования выводов, связанных с деятельностью того или иного вида транспорта, представлен статистический анализ дополнительных данных. Например, в «Обзоре Российского транспортного сектора в 2016 году» в разделе «Железнодорожный транспорт» [8, с. 8–11] сразу выделены динамические ряды по объему перевозок трех видов грузов (нефть и нефтепродукты, уголь, строительные грузы), также в данном разделе приведены динамические ряды производства и выбытия железнодорожных вагонов в России (структура производства и выбытия) в относительных показателях за период 2010–2016 гг. и прогноз до 2024 г. Выводы, представленные по динамическим изменениям рассматриваемых показателей, подтверждены описанием факторов, которые привели к изменению данных показателей за исследуемый период.

Продолжая рассматривать зарубежные подходы к анализу тенденций развития транспортного комплекса, необходимо рассмотреть методологию анализа, представленную в статистическом сборнике «Устойчивое развитие в отчете о мониторинге Европейского союза 2015 г. европейской Стратегии устойчивого развития», раздел «Стабильный транспорт» [14, с. 237–239]. В данном разделе представлен анализ тенденций развития транспортного комплекса ЕС, предпочтение в анализе отдается динамическим рядам относительных величин, показывающим отношение грузооборота по каждому виду транспорта к суммарному значению грузооборота в каждом году за период 2000–2013 гг. Также по аналогии представлены относительные величины грузооборота по каждому виду транспорта к грузообороту в целом по каждой стране Европейского союза.

Авторы данной статьи в своих предыдущих публикациях, посвященных темам исследования тенденций рынка грузовых перевозок и перспективам развития транспортного комплекса региона проводили анализ прогнозных значений рядов динамики показателей объема перевозок и грузооборота в целом по России и по исследуемому региону (Пермский край) [5, 12]. Прогнозные данные для анализа выбирались с учетом вариантов/сценариев развития транспортного комплекса России и рассматриваемого региона, данные и сценарии подробно описаны в Стратегических программах развития транспортного комплекса РФ и Пермского края.

Развивая методологию анализа тенденций развития транспортного комплекса региона, авторы в данной публикации предлагают использовать метод экстраполяции трендов, использующий трендовые модели в прогнозировании. Трендовая модель – это математическая модель, описывающая изменение прогнозируемого или анализируемого показателя только в зависимости от времени и имеющая вид $y = f(t)$.

Исходными данными для анализа тенденций развития транспортного комплекса региона являются данные Пермьстат (Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю) [9, 10]. Статистические данные по перевозкам грузов за период 2010–2016 гг. представлены в таблице 1, в таблице 2 представлены данные по грузообороту за период 2012–2016 гг. В качестве аналитических функций для анализа данных, представленных в таблице 1, таблице 2 используются пять функций (уравнений) трендов: экспоненциальная, линейная, логарифмическая, полиномиальная, степенная. Временной ряд и аналитические функции трендов показателя объем перевозок грузов железнодорожным транспортом в Пермском крае представлены на рис. 1.

Таблица 1

Перевозки грузов по видам транспорта в Пермском крае (тыс. т.)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Транспорт – всего	72811	66906	58989	59030	57635	53576	53525
железнодорожный ¹⁾	40828	40117	38871	38976	42173	41174	41855
автомобильный ²⁾	25659	22767	16013	16159	11376	9579	9728
внутренний водный	6324	4023	4105	3895	4085	2822	1942

1) По данным ОАО «РЖД»

2) По юридическим лицам (кроме микропредприятий) и индивидуальным предпринимателям автомобильного транспорта, занимающимися коммерческими грузовыми автоперевозками.

Таблица 2

Грузооборот по видам транспорта в Пермском крае (млн. т-км)

	2012	2013	2014	2015	2016
Транспорт – всего ¹⁾	46709	45086	49941	51201	51867
автомобильный ²⁾	1765	1467	1631	1715	1668
внутренний водный ³⁾	1151	972	744	430	138
железнодорожный	43793	42647	47566	49056	50061

1) С учётом грузооборота ОАО «РЖД».

2) По полному кругу специализированных автопредприятий (кроме микропредприятий) с учётом оценки объёмов работы, выполненной предпринимателями (физическими лицами).

3) По организациям и предприятиям, имеющим лицензию и осуществляющим перевозки грузов.

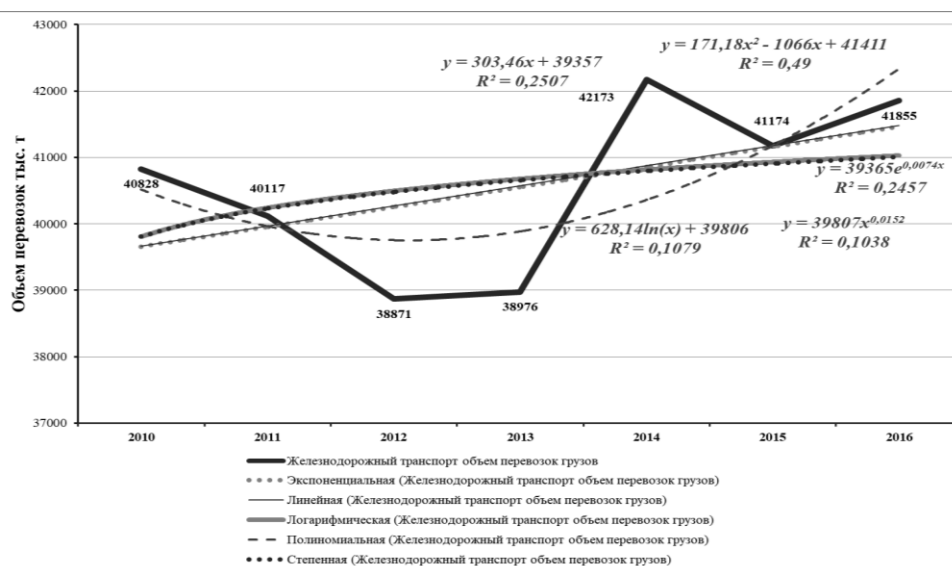


Рис. 1. Временной ряд и аналитические функции трендов показателя объем перевозок грузов железнодорожным транспортом в Пермском крае

Временной ряд и аналитические функции трендов: экспоненциальная, линейная, логарифмическая, полиномиальная, степенная, показателя грузооборота железнодорожного транспорта в Пермском крае представлены на рис. 2.

Таблица 3

Прогноз показателя объема перевозок грузов по видам транспорта в Пермском крае на 2020 г.

Вид транспорта	Экспоненциальная		Линейная		Логарифмическая		Полиномиальная		Степенная	
	Прогноз тыс.т.	R ²	Прогноз тыс.т.	R ²	Прогноз тыс.т.	R ²	Прогноз тыс.т.	R ²	Прогноз тыс.т.	R ²
Железнодорожный	$y = 39365e^{0,0074x}$	0,25	$y = 303,46x + 39357$	0,25	$y = 628,14\ln(x) + 39806$	0,1	$y = 171,18x^2 - 1066x + 41411$	0,5	$y = 39807x^{0,0152}$	0,1
Автомобильный	42703	0,25	42695	0,25	41312	0,1	50398	0,5	41285	0,1
	$y = 30288e^{0,178x}$	0,94	$y = -2814,5x + 27155$	0,92	$y = -9009\ln(x) + 26870$	0,94	$y = 358,71x^2 - 5684,2x + 31460$	0,97	$y = 29058x^{-0,55}$	0,91
Внутренний водный	30288	0,94	-3805	0,92	5267	0,94	12338	0,97	7763	0,91
	$y = 6755,7e^{0,152x}$	0,8	$y = -556x + 6109,1$	0,79	$y = -1782\ln(x) + 6055,1$	0,79	$y = 14,048x^2 - 668,38x + 6277,7$	0,79	$y = 6418,6x^{-0,457}$	0,73
	1269	0,8	-7	0,79	1782	0,79	625	0,79	2145	0,73

Таблица 4

Прогноз показателя грузооборота по видам транспорта в Пермском крае на 2020 г.

Вид транспорта	Экспоненциальная		Линейная		Логарифмическая		Полиномиальная		Степенная	
	Прогноз тыс.т.	R ²	Прогноз тыс.т.	R ²	Прогноз тыс.т.	R ²	Прогноз тыс.т.	R ²	Прогноз тыс.т.	R ²
Железнодорожный	$y = 41177e^{0,0408x}$	0,83	$y = 1894,5x + 40941$	0,85	$y = 4443,5\ln(x) + 42370$	0,75	$y = 62,357x^2 + 1520,4x + 41378$	0,85	$y = 42460x^{0,0957}$	0,74
Автомобильный	59447	0,83	57992	0,85	52133,4	0,75	60113	0,85	52396	0,74
	$y = 1624,8e^{0,0043x}$	0,01	$y = 5,4x + 1633$	0,006	$y = -15,36\ln(x) + 1663,9$	0,007	$y = 30,143x^2 - 175,46x + 1844$	0,25	$y = 1657,1x^{-0,007}$	0,004
Внутренний водный	1689	0,01	1681,6	0,006	1630	0,007	2706	0,25	1632	0,004
	$y = 2498,7e^{-0,506x}$	0,87	$y = -256,8x + 1457,4$	0,99	$y = -606,4\ln(x) + 1267,7$	0,89	$y = -22,286x^2 - 123,09x + 1301,4$	1,00	$y = 1613,3x^{-1,128}$	0,7
	26	0,87	-854	0,99	-65	0,89	-1612	1,00	135,3	0,7

Далее по аналогии – пять аналитических функций (уравнений) трендов применяются для анализа статистических данных объема перевозок грузов и грузооборота по автомобильному транспорту и внутреннему водному транспорту в Пермском крае. Статистические данные по объему перевозок за период $t = 7$ (2010–2016 гг.) позволяют построить трендовую модель прогноза исследуемого показателя на 2020 г. по каждому виду транспорта. Статистические данные по грузообороту за период $t = 5$ (2012–2016 гг.), также позволяют построить трендовую модель прогноза данного показателя на 2020 г. по каждому виду транспорта в Пермском крае. Результаты расчетов прогноза показателей объема перевозок грузов и грузооборота представлены в таблице 3 и таблице 4.

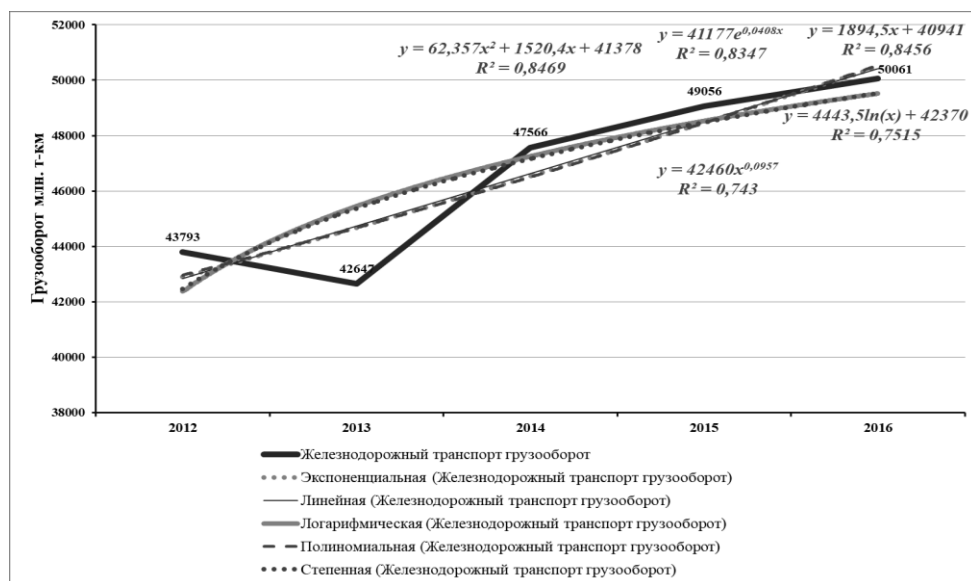


Рис. 2. Временной ряд и аналитические функции трендов показателя грузооборота железнодорожного транспорта в Пермском крае

Прогноз показателей объема перевозок грузов и грузооборота по видам транспорта в Пермском крае на 2020 г. рассматривается как величина случайная, вероятность которой подчиняется нормальному закону распределения. Математическое ожидание исследуемого показателя в соответствии с параметрами закона распределения определяется по формуле

$$t_{ож_{ij}} = \frac{t_{min_{ij}} + 4 * t_{нв_{ij}} + t_{max_{ij}}}{6}, \quad (1)$$

где $t_{min_{ij}}$ – минимальное значение показателя;
 $t_{max_{ij}}$ – максимальное значение показателя;
 $t_{нв_{ij}}$ – наиболее вероятное значение показателя;

Базируясь на ряде публикаций, посвященных стохастическому и сетевому планированию, где рассматриваются различные подходы к оценкам параметров закона распределения применяемых для расчета прогнозных показателей параметров времени [3, с. 15–20, 6, с. 77–79], – авторами, в данной публикации предлагается заменить в формуле 1 наиболее вероятностное значение показателя – $t_{нв_{ij}}$ на среднее значение прогнозируемых показателей рассматриваемых в вариативном ряду – $\bar{t}_{ij}$. Замена обоснована тем, что среднее значение прогнозируемых показателей – $\bar{t}_{ij}$ позволяет

избегать ошибок при выборе наиболее вероятностного значения, если вариативный ряд прогнозных показателей достаточно большой. Следовательно, математическое ожидание прогноза показателей объема перевозок и грузооборота по видам транспорта в Пермском крае на 2020 г (результаты расчетов по которым приведены в таблице 3 и таблице 4) далее рассчитываются по нижеприведенной формуле.

$$t_{ож_i} = \frac{t_{min_i} + 4 * \bar{t}_{ij} + t_{max_i}}{6}, \quad (2)$$

где t_{min_i} – минимальное значение показателя прогноза;

t_{max_i} – максимальное значение показателя прогноза;

$\bar{t}_{ij}$ – среднее значение показателей прогноза выбранного вариативного ряда;

i – вид транспорта.

Расчет математического ожидания прогноза показателей объема перевозок грузов и грузооборота по видам транспорта в Пермском крае на 2020 г., базируется на том, что на первом этапе убираются минимальные (отрицательные) и максимальные значения прогнозов по каждому виду транспорта, в таблице 3 и таблице 4 данные значения выделены курсивом). На втором этапе формируются вариативные ряды из прогнозных показателей по каждому виду транспорта для дальнейших расчетов по формуле 2, результаты расчетов представлены в таблице 5 и таблице 6.

Таблица 5

Математическое ожидание прогноза показателя объем перевозок грузов по видам транспорта в Пермском крае на 2020 г.(тыс.т.)

Вид транспорта	Статистические данные							Ожидаемая величина прогноза $t_{ож_i}$ 2020 г.
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Железнодорожный	40828	40117	38871	38976	42173	41174	41855	42161
Автомобильный	25659	22767	16013	16159	11376	9579	9728	8572
Внутренний водный	6324	4023	4105	3895	4085	2822	1942	1218

Таблица 6

Математическое ожидание прогноза показателя грузооборот по видам транспорта в Пермском крае на 2020 г.(млн. т-км)

Вид транспорта	Статистические данные					Ожидаемая величина прогноза $t_{ож_i}$ 2020 г.
	2012	2013	2014	2015	2016	
Железнодорожный	43793	42647	47566	49056	50061	56382
Автомобильный	1765	1467	1631	1715	1668	1665
Внутренний водный	1151	972	744	430	138	81

Результаты расчетов, представленных в таблице 5, таблице 6 позволяют сделать вывод о том, что только по железнодорожному транспорту прогнозируется рост объема перевозок грузов до 42161 тыс. т., грузооборота до 56382 млн. т-км. По автомобильному транспорту прогнозируется снижение объемов перевозок до 8572 тыс. т., грузооборота до 1665 млн. т-км. По внутреннему водному транспорту прогнозируется достаточно большое снижение объема перевозок грузов до 1218 тыс. т., грузооборота до 81 млн. т-км.

Представленный методологический подход к анализу тенденций развития транспортного комплекса региона позволяет более четко обосновать прогноз развития каждого вида транспорта в транспортном комплексе любого региона. Показательно для Пермского края то, что представленный прогноз выявил еще большую неравномерность развития каждого вида транспорта в транспортном комплексе рассматриваемого региона в будущем до 2020 г. У железнодорожного транспорта благоприятные показатели прогноза объема перевозок грузов и грузооборота в отличие от автомобильного и внутреннего водного транспорта. Соответственно, неравномерность развития приведет к перегрузкам в работе одного вида транспорта и простоями в работе у других видов транспорта. Для сбалансированности развития транспортного комплекса Пермского края целесообразно рассматривать в ближайшей перспективе передачу части грузовых потоков с железнодорожного на внутренний водный транспорт. Новые логистические схемы перевозки грузов позволят более равномерно использовать транспортную инфраструктуру каждого вида транспорта в рассматриваемом регионе.

Для экономического обоснования передачи части грузовых потоков с железнодорожного на внутренний водный транспорт целесообразно рассматривать мультипликативный эффект, применяемый в расчетах сценарного прогнозирования. Тактика такого рода прогнозов – не только иллюстрация возможности приблизиться к реалиям сегодняшней экономической жизни. Макроэкономический подход для экономического обоснования развития водного транспорта в речных бассейнах европейской части России является новым и вполне может быть использован в практической деятельности при разработке новых программ и проектов развития [13, с. 124].

Единая транспортная политика Европейского союза базируется на сбалансированном развитии транспортной инфраструктуры государств-членов (общий европейский рынок транспортных услуг). В Брюсселе 28 марта 2011 года Европейский совет принял очередную «Белую книгу» – дорожную карту перехода Единой европейской транспортной зоны к конкурентной и энергоэффективной транспортной системе, содержащую положения о мерах, необходимых для перехода к конкурентной низкоуглеродной экономике к 2050 году. Одна из основных целей – это переключение на железнодорожный транспорт или внутренний водный транспорт к 2030 году – 30% грузовых автомобильных перевозок, и более чем 50% – к 2050 году. Для достижения этой цели потребуются создание соответствующей инфраструктуры [15, 16]. Поставленные задачи по переключению грузопотоков с автомобильного на внутренний водный транспорт могут быть реализованы только при активной поддержке со стороны Европейских государств, поскольку в «чистых» рыночных условиях речной транспорт проигрывает в конкурентной борьбе автомобильному транспорту, прежде всего, по причине более длительных сроков доставки грузов и невозможности обеспечить доставку «от двери до двери».

Значимость вопроса развития внутреннего водного транспорта (ВВТ) отметил президент РФ В.В. Путин на Заседании президиума Госсовета по вопросу развития внутренних водных путей проходившего 15 августа 2016 года в г. Волгограде [1].

Преимущества водного транспорта: более низкие издержки при перевозках металла от 200 км, при перевозке удобрений от 250–300 км; более низкие расходы на содержание и ремонт инфраструктуры в 1,6 раза ниже на 1 т-км, чем на содержание инфраструктуры железнодорожного транспорта; удельный показатель выброса углекислого газа на внутреннем водном транспорте составляет 20% выбросов на железнодорожном; уровень аварийности на внутренних водных путях (в денежной оценке) ниже, чем на железнодорожном транспорте в 2 раз [13, с. 122].

Выделенные преимущества водного транспорта позволяют говорить о возможности дальнейшего сбалансированного развития данного вида транспорта в транспортном комплексе Пермского края.

Развитие методологических аспектов анализа тенденций развития транспортного комплекса позволяет более обоснованно говорить о прогнозах показателей деятельно-

сти каждого вида транспорта в транспортном комплексе любого региона, заранее выявлять и минимизировать негативные тенденции, которые препятствуют сбалансированности развития регионального транспортного комплекса.

Список литературы:

- [1] Материалы Заседания президиума Госсовета по вопросу развития внутренних водных путей. 15.09.2016 г. Волгоград. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://special.kremlin.ru/events/state-council/52713>. Дата обращения 12.03.2018.
- [2] Андрианов Ю.С., Порядина О.В. Сравнительный анализ основных тенденций развития транспортного комплекса Российской Федерации и Республики Марий Эл. / Ю.С. Андрианов, О.В. Порядина // Вестник МарГТУ. Раздел: Экономика и управление народным хозяйством, 2008. – №2. – С. 45–55.
- [3] Голенко-Гинзбург Д.И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками: Монография. – Воронеж: «Научная книга», 2010. – 284 с.
- [4] Илларионов М.Г., Латыпова Р.Р. Анализ тенденций развития транспортного комплекса Российской Федерации и Республики Татарстан. / М.Г. Илларионов, Р.Р. Латыпова // Вестник Астраханского Государственного технического университета. Серия: Экономика, 2011. – С. 90–93. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-tendentsiy-razvitiya-transportnogo-kompleksa-rossiyskoy-federatsii-i-respubliki-tatarstan>. Дата обращения 14.02.2018.
- [5] Задровский П.В. Анализ перспектив развития транспортного комплекса Пермского края / Задровский П.В., Калачев В.К., Кузьмичев И.К. // Журнал «Экономика и предпринимательство». – М.: Из-во «Экономика и предпринимательство», 2015. – № 10 -2. – С. 420–424. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24817815>
- [6] Кофман А., Дебазей Г. Сетевые методы планирования. – М.: Из-во «Прогресс», 1968. – 180 с.
- [7] Обзор российского транспортного сектора. Март 2016. // KPMG, 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/05/ru-ru-transport-survey-2016.pdf>. Дата обращения 15.02.2018.
- [8] Обзор российского транспортного сектора в 2016 году. // КПМГ в России и СНГ, 2017 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/ru/pdf/2017/04/ru-ru-transport-survey.pdf>. Дата обращения 15.02.2018.
- [9] Пермский край в цифрах 2017. Краткий статистический сборник. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://permstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/permstat/ru/publications/official_publications/electronic_versions/c6094e804155d8c6b9b1bda3e1dde74c. Дата обращения 12.02.2018.
- [10] Статистический ежегодник Пермского края 2017. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://permstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/permstat/ru/publications/official_publications/electronic_versions/a677c60043ddf5e7be3ebffa17e1e317. Дата обращения 12.02.2018.
- [11] Ткачев И.Г. Транспортный комплекс Российской Федерации: проблемы и тенденции развития. / И.Г. Ткачев // Управленческое консультирование, 2017. – №6. – С. 183–189. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sziu.ranepa.ru/images/nauka/UK_DOI/6_17/Tkachev_6_17.pdf. Дата обращения 14.02.2018.
- [12] Фролова О.Н. Исследование тенденций рынка грузовых перевозок для оценки региональных аспектов развития транспортной системы / О.Н. Фролова // журнал «Вестник Университета». – М.: Государственный Университет Управления, 2011. № 6. – С. 182–184. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=18872538>
- [13] Фролова О.Н. Макроэкономический подход к обоснованию транспортных проектов / О.Н. Фролова // Журнал «Мир Транспорта». Раздел: Экономика – М.: Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, 2017 – №5. – С. 118–129. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32311912>
- [14] Sustainable development in the European Union 2015 monitoring report of the EU Sustainable development Strategy. Eurostat 2015. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/6975281/KS-GT-15-001-EN-N.pdf>. Дата обращения 16.02.2018.
- [15] Transport 2050: Commission outlines ambitious plan to increase mobility and reduce emissions. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-372_en.htm. Дата обращения 20.02.2018.
- [16] Transport 2050: The major challenges, the key measures. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-11-197_en.htm. Дата обращения 20.02.2018.

METHODOLOGICAL ASPECT OF THE ANALYSIS OF TENDENCIES OF THE DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT COMPLEX OF THE REGION (USING THE EXAMPLE OF PERM REGION)

P.V. Zadrovsky, O.N. Frolova

Key words: methodology of the analysis of tendencies, transport complex of the region, forecast of indicators by means of transport.

In the article the methodological aspect of the analysis of tendencies of the development of a transport complex of the region is developed, forecast calculations of indicators of activities of means of transport on analytic functions of trends and the choice of forecast values using the theory of mathematical expectation are given. The conclusion on the analysis results of the need of the balanced development of all means of transport for a regional transport complex is given.

Статья поступила в редакцию 26.04.2018 г.

УДК 656.211

Ж.К. Кегенбеков, к.т.н., доцент Казахстанско-Немецкого университета (КНУ)

Д.М. Тюлюбаева, к.т.н., доцент Казахстанско-Немецкого университета (КНУ)

О.В. Гармаш, к.т.н., доцент Казахстанско-Немецкого университета (КНУ)

Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Пушкина, 111

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ПОРТРЕТ ЭКСПЕДИТОРА В КАЗАХСТАНЕ

Ключевые слова: логистика, транспорт, грузовые перевозки, экспедитор.

В статье приведены основные требования к экспедиторам, основные компетенции, которые необходимы как людям, работающим в этой сфере, так и тем, кто пользуется их услугами.

Логистика в Казахстане появилась относительно недавно, но, несмотря на это, развивается огромными темпами. Клиенты требуют все большего и большего от логистов и предоставляемых ими продуктов. Здесь можно отметить требования к увеличению скорости доставки товара, качеству доставки, требование новых, уникальных логистических продуктов. Но без мониторинга и анализа существующей ситуации в области логистики в Казахстане не обойтись. Описание портрета экспедитора достаточно важный процесс для рынка транспортных услуг Казахстана, ведь это ново как для начинающих, так и для практикующих специалистов, которые смогут подробно ознакомиться с деятельностью экспедитора, основываясь на его профессиональном портрете.

Залогом успеха экспедитора является предложение решений, оптимальных как для принципала, так и для агента, не забывая о собственной выгоде, но не ставя её в основу осуществления своей деятельности. Для чего ему необходимо в равной части обладать всеми видами компетенций.

Логистическая отрасль в данный момент испытывает достаточно много проблем. Это касается не только нехватки кадров, но и устаревшей транспортной инфраструк-

туры, проблемы качества предоставляемых услуг и других проблем. Но, несмотря на это, отрасль логистики в Казахстане развивается стремительно, обходя некоторые проблемы стороной, а некоторые решая «на ходу». Несмотря на все проблемы, знать компетенции экспедитора необходимо как людям, работающим в этой сфере, так и тем, кто пользуется их услугами.

В современном скоротечном мире, где логистики требует буквально каждый товар, продукт или услуга, не обойтись без компаний, которые помогают в понимании логистики. Данная статья описывает профессиональный портрет экспедитора, который и занимается предоставлением такого рода услуг.

Актуальность работы заключается в отсутствии сформированного ранее портрета экспедитора для рынка транспортных услуг Казахстана, который бы стал очень полезным для начинающих специалистов в освоении профессии логиста и понимании рынка транспортно-логистических услуг страны в целом. В силу того, что написано выше, возникает вопрос, возможно ли проведение аналогии между экспедитором из Казахстана и экспедитором из стран дальнего зарубежья.

Гипотезой данной статьи является следующее: соответствует ли портрет казахстанского экспедитора, портрету зарубежного экспедитора.

Целью данной статьи является описание профессионального портрета экспедитора Казахстана.

Задачи исследования:

- формулировка определения для термина экспедитор;
- разработка компетенций экспедитора;
- технологический процесс обработки заявки.

1. Формулировка определения для термина «экспедитор».

Форвардер, с английского forwarder – экспедитор. От слова forward, что означает дальше, вверх, вперёд. Как правило, экспедитором является человек либо организация, контролирующая процесс перевозки, отправку груза и доставку его до места. Помимо стандартного набора услуг, таких как: транспортировка, упаковка, погрузочно – разгрузочные работы, доставка до двери, который может предложить любой транспортник, экспедитор оказывает перечень дополнительных услуг: оформление документации, страхование, подбор оптимального транспортного средства, построение маршрута движения этого средства, слежение за грузом в пути и основную часть работ, которые связаны с самим грузом непосредственно.

Как правило, экспедитор является связующим звеном между принципалом (принципалами) и агентом (агентами). Разница между экспедитором – принципалом и экспедитором – агентом состоит лишь в юридических формальностях. Принципалом считается собственник товара или тот, кто платит за перевозку, иначе говоря, лицо, от чьего имени действует агент. Агент же, в свою очередь, лицо или компания, которая оказывает услуги. Перечень услуг крайне широк, в связи с этим у одного экспедитора может быть нескончаемое количество агентов. К примеру, агент по таможенному оформлению, агент по хранению, по транспортировке и так далее. Заключая договора для обеих сторон в сделке с агентом экспедитор является принципалом, а в сделке с принципалом является агентом, несмотря на то, что в обоих случаях заключается договор на оказание услуг. В одной сделке экспедитор это заказчик, а в другой исполнитель.

Экспедитор является главным организатором транспортного процесса, который, как правило, состоит из двух и более участников. Он обеспечивает движение товара от производителя к конечным потребителям, охватывая весь спектр услуг по транспортировке, хранению, упаковке, таможенной очистке, правовому оформлению, оформлению документации, консультации и так далее. Список услуг, который в состоянии оказать экспедитор посредством возможностей своих агентов, можно продолжать до бесконечности, но в первую очередь экспедитор – это консультант, к ко-

торому с просьбой о помощи обращается заказчик. Именно экспедитор, выступая от лица грузовладельца перед перевозчиками, оформляет требуемые к перевозке документы, выбирает наиболее эффективный маршрут следования, несёт ответственность за простои и непредусмотренное хранение, например, в местах перевалки грузов. Также принимает груз к перевозке, осуществляет маркировку при необходимости, сопровождение, доставляет до склада получателя, выполняет выдачу товара грузополучателю, оплачивает провозные пошлины и, соответственно, рассчитывает стоимость всего перевозочного процесса.

В зависимости от уровня развития экспедиторской компании, экспедитор может работать только с субагентами, либо иметь собственный автопарк, либо ж/д вагоны, подъездные пути, контейнерные терминалы или склады временного хранения. Это зависит от профиля перевозок, на котором специализируется данный экспедитор. Комплекс услуг, оказываемых одним экспедитором, также зависит от вида транспорта, которым форвардер осуществляет доставки грузов. Инструктивный комплекс для экспедиторов предпочтительнее создавать индивидуально, учитывая специфику работы и отрасли работы форвардера [1].

2. Разработка компетенций экспедитора.

Для успешного ведения экспедиторской деятельности экспедитор должен обладать определенными профессиональными, межструктурными, социальными и информационно-технологическими компетенции, основные из которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Профессиональные компетенции экспедитора

Профессиональные	Межструктурные	Информационно-технологические	Социальные
Знание правил перевозок грузов по видам транспорта.	Знание таможенного законодательства	Уверенный пользователь ПК	Соблюдение корпоративной этики
Знание технических характеристик ТС и ТЕ	Международные отношения	Работа с 1C, SAP	Гражданская ответственность
Владение специальными ПО	Знание иностранных языков	Работа с разными специфическими программами	Повышение квалификации
Знание специальных терминов	Знание международного права	Сбор и анализ информации	Умение работать в команде
Знание заполнения сопроводительной документации	Международное таможенное право	Электронный обмен данными	Взаимосвязь между логистическими системами

Экспедитор как профессионал своего дела должен обладать некоторыми компетенциями, которые ему необходимы для своего дела. Как видно из таблицы 1, компетенции экспедитора можно разделить на несколько пунктов, а именно: профессиональные, межструктурные, информационно-технологические, социальные. К профессиональным компетенциям экспедитора относятся те знания, которые специалисты применяют непосредственно для выполнения своих рабочих обязанностей. Специалист экспедитора должен иметь понятие о правилах перевозок грузов по всем видам транспорта, в том числе, и грузов специфических – таких, как опасные или скоропортящиеся. Знание характеристик транспортных средств и транспортных единиц – одно из важнейших компетенций. Ведь без этого невозможно организовать перевозку правильно. Для современного человека характерен обмен большим количеством информации за день. Отличному и бесперебойному обмену данными содействует знание и

владение специальным программным обеспечением. Для того, чтобы отлично организовать перевозку грузов, нужно отличное знание специальных терминов, которых в логистике очень большое количество. Для предупреждения проблем с таможенными и иными лицензирующими органами, экспедитор обязан знать правила заполнения сопроводительных документов к грузу [2].

К межструктурным компетенциям экспедитора можно отнести знание таможенного законодательства. Не только той страны в которой зарегистрирован экспедитор, но международного таможенного права, правил сертификации и других контролей. Отличное ориентирование в международной обстановке и международных отношениях, знание международного права также требуется для корректной отправки грузов в международном сообщении. Для того, чтобы поддерживать связь с международными партнерами, специалисту необходимо знание иностранных языков как обязательный пункт.

Век информационных технологий не обошёл ни одну отрасль деятельности человека, в том числе и экспедирование. Для того, чтобы осуществлять свою работу корректно нужно уметь пользоваться персональным компьютером. Помимо знаний ПК экспедитору требуются знания по работе с программами 1С, SAP. Уметь собирать и анализировать электронную информацию, а также контролировать электронный обмен данными.

Несмотря на то, что на дворе XXI век и обмен данными и информацией между людьми происходит все чаще и чаще посредством сети интернет, экспедитор должен иметь социальные компетенции. Такие элементарные вещи, как соблюдение этики, гражданская ответственность, умение работать в команде должны быть у каждого.

3. Технологический процесс обработки заявки.

Технологический процесс работы экспедитора, как правило, состоит из принятия запроса на перевозку, обработки заказа, предоставления ценового, либо коммерческого предложения, организации перевозки, а также получения обратной связи от клиента. Обработка заявки на перевозку начинается с ее получения. В компанию заявка, как правило, поступает тремя способами: посредством электронной почты, через телефон, либо через онлайн – консультанта на сайте компании. Заявки принимает офис – менеджер, заполняя утвержденную форму заявки, которая содержит общую информацию о заказчике, о типе услуги и типе груза.

Форма заявки представляет собой лист формата А5, содержит графы и пробелы для заполнения информации. Графы включает такую информацию как: тип транспорта, вес груза, объём груза, класс опасности при наличии, размеры грузовых мест, страна (город, станция, порт) загрузки и разгрузки, детали по страхованию и таможенному оформлению при запросе. А также контактную информацию по клиенту: имя, фамилия, название компании, адрес компании (город), адрес электронной почты и контактный телефон.

Запросы от потенциальных клиентов могут поступать по электронной почте, через телефон, либо через онлайн – консультанта, который расположен на сайте компании. Офис-менеджер является ответственным за обработку заказов онлайн. Он ежедневно включает приложение под названием «jivosite» у себя на компьютере и через логин и пароль синхронизирует его с консультантом на сайте. Любой человек, посетивший сайт может написать вопросы в режиме реального времени и получить бесплатную консультацию от компании. После чего офис менеджер передаёт заявки в отдел логистики на распределение, либо начальнику таможенного отдела, в зависимости от характера услуги, которую запросил клиент.

Начальник отдела логистики, в свою очередь, распределяет заявки между специалистами по видам транспорта. В случае, если клиенту требуется отдельно таможенное оформление груза, офис-менеджер передает заявку в таможенный отдел, если же клиент запрашивает стоимость перевозки, включая таможенное оформление груза, стои-

мость услуг за таможенные процедуры запрашивает менеджер, за кем закреплена заявка. После получения новой заявки специалисту отдела логистики в обязательном порядке необходимо писать клиенту на электронную почту пробное письмо, с благодарностью за запрос и уточнению деталей, при необходимости. В первую очередь, этим письмом менеджер удостоверяется, что электронная почта верно указана и клиент получит информацию по его запросу. При необходимости менеджер запрашивает сопроводительную документацию по грузу: паспорта безопасности MSDS, инвойсы, упаковочные листы и остальные документы для более корректной обработки запроса. Кроме адреса электронной почты нужно знать контактные телефоны клиента, так как некоторую информацию необходимо получать незамедлительно, а связь по электронной почте недостаточно оперативная. Следующим шагом в обработке заявки является составление маршрута и выбор оптимального типа транспорта, согласно заявленным данным о грузе, так как большинство заказчиков не имеют представления, какой тип транспорта им нужен и как оптимально будет его перевезти.

Поиск поставщиков и агентов – важный этап в работе экспедитора, так как надежный агент – это имидж и репутация экспедитора перед клиентом. Обязательным условием при каждой обработке заказов является поиск новых агентов – альтернатив, анализ рынка, а также конкурентоспособности агентов существующих в базе. Критериями для выбора агента являются: стоимость услуги, сроки доставки, условия поставки, условия оплаты, дополнительные услуги, имидж компании и стаж работы. Самый простой и надежный способ выбора партнера – поставщика состоит в прямом сравнении рейтинга всех перевозчиков между собой. При выборе поставщика и агента экспедитор ориентируется в первую очередь на требование клиента.

При точном определении выбора транспорта проводится мониторинг рынка поставщиков, специализирующихся на конкретном транспортном сегменте. Выбор зависит не только от основных показателей перевозки, таких как цена, скорость, сохранность. Но также она дополняется большим количеством других критериев, которые в совокупности помогают определиться с выбором нужного поставщика. Также большое внимание в работе экспедитора уделяется оптимальности. Выбор оптимальных маршрутов транспортировок зависит от специфики груза, его размеров и назначения. Особое внимание заслуживает выбор маршрута для крупногабаритных или негабаритных, а так же опасных грузов, при транспортировке которых необходимы дополнительные согласования с государственными структурами в соответствии с нормативными актами, регламентирующими данный вид перевозок. При разработке маршрута транспортировки груза экспедитору в первую очередь следует руководствоваться следующими параметрами: основные технические характеристики транспортных средств, специфика грузов, требования к особым условиям их перевозки, состав организаций, согласующих маршрут и осуществляющих контроль за всеми этапами выполнения транспортных операций. Кроме того, выбор оптимального маршрута предусматривает минимум препятствий и барьерных точек, т.е. пунктов перегруза, сортировки, досмотра и других операций, а также минимальные сроки их прохождения. Например, чем меньше будет на маршруте межгосударственных границ таможенного и пограничного контроля, тем эффективнее будет транспортировка. Выбор вида транспорта играет немаловажную роль в первую очередь, с точки зрения безопасности транспортировки. Выбирая соответствующий вид транспорта, экспедитор должен учитывать показатели мощности и доступности в смысле провозных возможностей, технико-эксплуатационных показателей и пространственной доступности транспорта. Важным условием выбора является обеспечение сохранности груза в пути, соблюдения требований стандартов качества груза, международных экологических требований.

Начальник таможенного отдела, в свою очередь, распределяет заявки среди специалистов по таможенному оформлению, ориентируясь на загруженность каждого. Компания предлагает широкий спектр услуг по таможенным процедурам, включая:

таможенное декларирование импортных/экспортных грузов, оформление разрешающих документов для всех видов таможенных режимов, подбор кодов товаров по ТН ВЭД, а также предварительный расчет и оценка таможенных платежей.

После обработки заявки ответственный менеджер подготавливает ценовое предложение для клиента. Оно включает в себя данные по грузу, ставку с учётом прибыли экспедитора, сроки доставки, а также дополнительные условия или услуги, которые может предложить экспедитор. К дополнительным услугам также относят погрузочно-разгрузочные работы, оформление сопроводительной документации, услуги таможенного оформления и страхования. При необходимости, такого рода предложения печатаются на фирменном бланке компании и служат официальным подтверждением ставки. Предложение делается с обязательным обращением к руководству компании, как уникальная услуга. Под основной информацией ставятся подписи директора компании и менеджера, ведущего перевозку. И сканированный файл этого предложения отправляется официальным письмом клиенту. Обязательно необходимо указать срок действия данного ценового предложения. Кроме того, ценовое предложение может быть сделано в упрощенной форме в виде обычного сообщения на электронную почту.

Следующим этапом является ведение переговоров с клиентами. Как правило, после предоставления ценового предложения, компания не получает никаких ответных реакций от клиента. В данном случае экспедитор связывается с клиентом, и уточняет, получил ли он письмо. При необходимости делается пересылка письма. Далее необходимо уточнить восприятие к ценовому предложению в целом. Приемлемы ли цена и сроки для клиента, вся ли информация для него понятна. При наличии претензий необходимо предложить альтернативный вариант, либо другое логистическое решение поставленной задачи.

Финальным шагом работы экспедитора является исполнение сделки. При положительной реакции клиента на предложение, от экспедитора поступает предложение о заключении сделки. Сделка оформляется посредством заявки и заключения договора. В некоторых конкретных случаях, заключение договора является необязательным условием для первой сделки. В этом случае в заявке отражаются все детали по грузу, условиям доставки и оплаты, детали по штрафам и так далее. Другими словами, вся информация, которая прописывается обычно в договоре. В обязательном порядке подписываются договор и заявка двумя сторонами, заключающими сделку. Для уменьшения временных издержек, действительными считаются и отсканированные копии названных документов. После окончания перевозки все оригиналы документов отправляются курьером. От компании экспедитора до компании клиента. Только после подписания бумаг с клиентом является целесообразным заключать сделку с агентом. После исполнения сделки в обязательном порядке выписываются закрывающие документы: счёт-фактура и акт выполненных работ. Оригиналы этих документов, заявки, договора и счёта отправляются курьерами или почтой. Технологический процесс обработки заявки на перевозку можно увидеть на рисунке 1.

Неотъемлемой частью успешной работы и залогом успеха является клиентоориентированность, желание оставить клиента удовлетворённым и перевести его из ряда вновь прибывших клиентов в раздел постоянных. Также при работе с людьми обязательно принимать во внимание отношения с субагентами и поставщиками услуг, с которыми работает экспедитор. Поэтому залогом успеха экспедитора является предложение решений, оптимальных как для принципала, так и для агента, не забывая о собственной выгоде, но не ставя её в основу осуществления своей деятельности. Для этого ему необходимо в равной части обладать всеми видами компетенций.

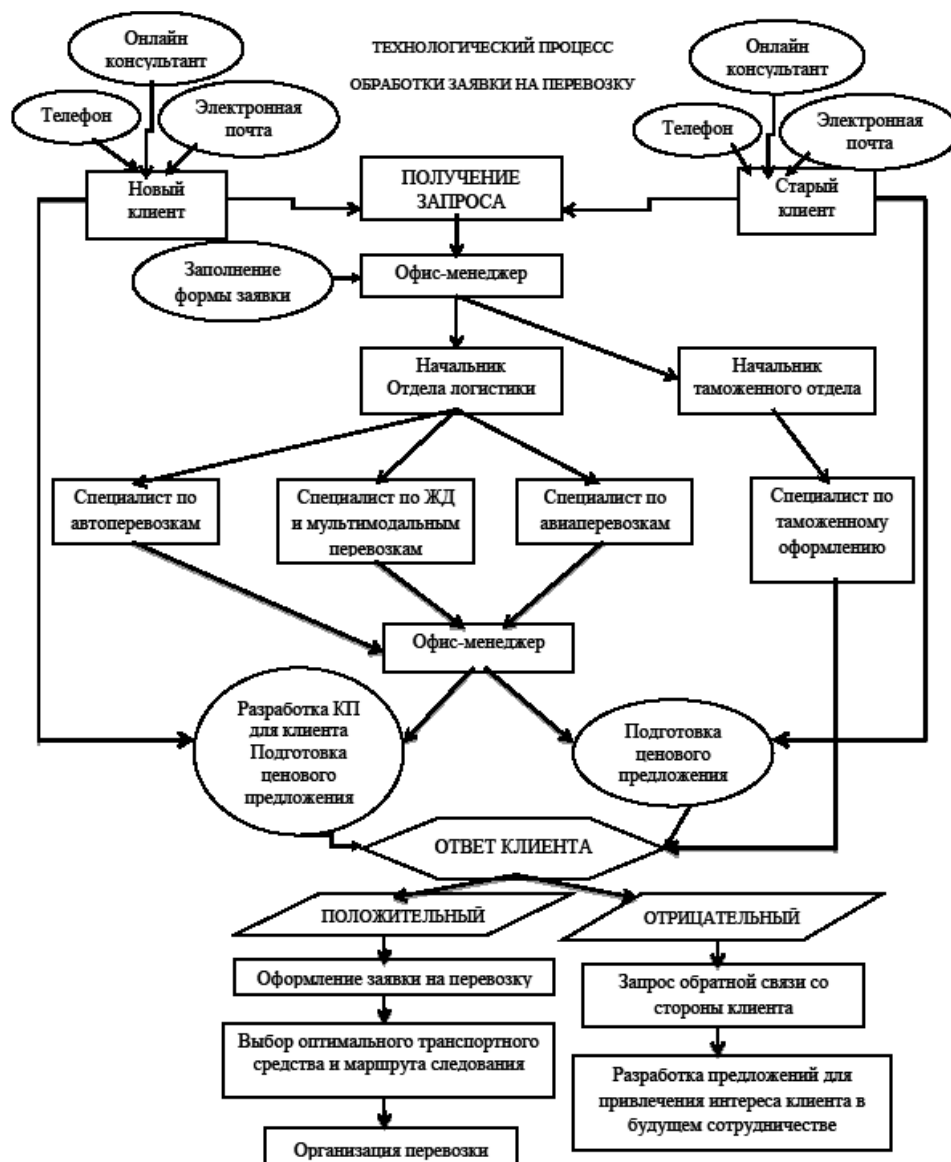


Рис. 1. Технологический процесс обработки заявки на перевозку

Как уже было сказано, логистическая отрасль в данный момент испытывает достаточно много проблем. Это касается не только нехватки кадров, но и старость транспортной инфраструктуры, проблемы качества предоставляемых услуг и другие. Но, несмотря на это, отрасль логистики в Казахстане развивается стремительно, обходя некоторые проблемы стороной, а некоторые приходится решать «на ходу». Не смотря на все проблемы, знать компетенции экспедитора необходимо, как людям, работающим в этой сфере, так и тем кто пользуется их услугами.

Список литературы:

[1] Андруцкий Ф., Палий В., Шмидт С., Бекмаганбетова Г. Руководство для международных экспедиторов Центральной Азии: Казахстан, Кыргызстан, Таджикистан. Региональный проект USAID по либерализации торговли и таможенной реформе (RTLC). – Алматы: Научно-

исследовательский институт транспорта и коммуникаций Республики Казахстан (НИИ ТК), 2011. – 495 с.

[2] Профессия экспедитор. Кто такой экспедитор // <http://work-place.net/?p=903> (был доступен 01 апреля 2017 г.)

PROFESSIONAL PORTRAIT OF A FORWARDER IN KAZAKHSTAN

Zh.K. Kegenbekov, D.M. Tyulubayeva, O.V. Garmash

Key words: *logistics, transport, freight transport, forwarder.*

In the article the main requirements for forwarders and basic skills which are necessary for specialists working in this field and those who use their services are given.

Статья поступила в редакцию 18.04.2018 г.

УДК 656

Н.В. Мордовченков, доктор экон. наук, профессор ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

А.А. Сироткин, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГПУ им. К. Минина»
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 1

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

Ключевые слова: *инновационная деятельность; транспортно-логистическая сфера.*

Разработана методика оценки транспортно-логистических проектов, включающая оценочные критерии, соответствующие требованиям к результатам инновационного развития транспортно-логистической сферы. Рассмотрена роль инфраструктуры в инновационном развитии транспортно-логистической сферы. Представлена российская и зарубежная практика в железнодорожных грузовых перевозках как сегменте транспортно-логистической сферы.

Введение

Ключевое значение для обеспечения долгосрочной эффективности и стратегической конкурентоспособности в транспортно-логистической сфере приобретает инновационная деятельность. В каждом сегменте такой сферы необходимо использовать лучшие научные наработки в области технологий, чтобы сделать работу с грузами более быстрой, диверсифицированной, надежной и экономически привлекательной. Все это в значительной мере определяется тем, как быстро и обоснованно внедряются инновации в реальную практику. В этом плане существуют свои результаты у каждой страны.

Цель работы состоит в комплексном (системном) изучении инновационной деятельности в транспортно-логистической сфере. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: разработать методику оценки транспортно-логистических проектов, включающую оценочные критерии, соответствующие требованиям к результатам инновационного развития транспортно-логистической

сферы; сформулировать критерии инновационных проектов развития транспортно-логистической инфраструктуры; представить современную российскую и зарубежную практику инновационной деятельности в железнодорожных грузовых перевозках как сегменте транспортно-логистической сферы.

Методологическая основа исследования.

Научное исследование в рамках данной статьи проводилось с применением методов научного познания: сравнение, анализ и синтез. Для решения поставленных задач в статье применялся метод системного анализа.

Интерпретация результатов исследования и их анализ.

В современных экономических условиях поиск новых направлений для инновационного развития транспортно-логистической сферы и ее элементов является актуальной отраслевой задачей.

Одно из таких направлений – это цифровизация, которая предусматривает IT-платформу, интегрирующую в едином окне инновационный механизм подбора маршрута грузовой перевозки вагона (контейнера), типа страхования груза, расчета стоимости комплекса транспортно-логистических услуг. Цифровые инновации в транспортно-логистической сфере повышают уровень самой логистической работы.

Следует отметить, что инновационное развитие транспортно-логистической сферы должно учитывать требования к ожидаемым результатам от внедрения соответствующих инноваций (табл. 1).

Таблица 1

Соответствие между требованиями к результатам инновационного развития транспортно-логистической сферы и ключевыми показателями перспективности инновационных транспортно-логистических проектов

Требования к результатам инновационного развития транспортно-логистической сферы	Ключевые показатели оценки инновационных транспортно-логистических проектов
Удешевление и ускорение транспортно-логистических услуг, ориентированность транспортного обслуживания на специфические требования грузоотправителей	Себестоимость и скорость оказания транспортно-логистических услуг, количество выполненных индивидуальных (уникальных) транспортно-логистических заказов
Обеспечение пространственной и энергоэффективности	Уровень диверсификации терминалов (грузовых дворов, механизированных дистанций погрузочно-разгрузочных работ) по услугам, грузам и подвижному составу, уровень энергоэффективности, доля альтернативных источников энергии
Переход на «зеленую логистику»	Экологичность транспортно-логистических услуг
Устранение барьеров между различными видами транспорта в международном сообщении при грузовых перевозках	Интероперабельность и соединенность транспортных систем

По каждому пункту (табл. 1) обязательной составляющей является транспорт, эффективность и предсказуемость его использования во времени и пространстве. Поэтому очень важна роль прогнозирования. В большинстве прогнозов для моделей движения транспорта в грузовых перевозках применяются сложные многопеременные, так называемые логит- или пробит-модели. Модели грузопотока гибко изменяются и все чаще становятся результатом интегрированного планирования комплексных перевозок и экономически обоснованной логистики в пределах отдельной компании [1].

Вместе с тем, зарубежный опыт прогнозирования развития транспортно-логистической сферы в контексте крупных инфраструктурных проектов свидетельствует о следующих приоритетах [1]:

– даже в условиях расширения международного рынка грузоперевозок в Европе есть факторы, которые не поддаются прогнозированию, например, при железнодорожных грузовых перевозках это – негибкость железнодорожных компаний, отсутствие согласованности на транспортных рынках, снижение относительных затрат автомобильного транспорта;

– несмотря на основательную подготовку транспортных инфраструктурных проектов, существует риск существенных ошибок в прогнозировании развития грузопотоков, объема грузоперевозок, направленности изменения этого объема;

– прогнозирование спроса в транспортной отрасли, охватывающее в т.ч. объем грузовых перевозок, территориальное распределение транспорта и распределение между видами транспорта является в значительной мере рискованным.

В Европе осуществляются крупномасштабные инвестиции в развитие объектов транспортной инфраструктуры, обслуживающих грузовые потоки с учетом внутренних, транзитных, экспортных и импортных составляющих в структуре перевозок.

Для оценки перспективности транспортно-логистических инновационных проектов на основании [2, 3] предлагается индекс перспективности инновационных транспортно-логистических проектов, который должен определяться с учетом представленных в таблице 1 ключевых оценочных показателей, образующих фокус-группу:

$$se_{iHH}^i = \sum_{j=1}^n I_j^i \times a_j \quad (1)$$

где I_j^i – индекс j -го показателя фокус-группы по i -му проекту (чем лучше значение

показателя, тем выше его индекс);

a_j – вес j -го показателя фокус-группы;

n – число показателей фокус-группы;

i – индекс оцениваемого инновационного проекта.

При отборе проектов с помощью предложенного индекса можно руководствоваться двумя дополнительными критериями (табл. 2).

Таблица 2

Дополнительные критерии для оценки проекта (составлено по [2])

Название критерия	Характеристика критерия	Формализация
«Разумная достаточность»	Для дальнейшего развития отбираются проекты, индекс перспективности которых превышает некоторое приемлемое («пороговое») значение	$se_{iHH}^i > se_{iHH}^{i*} \quad (2)$
Максимизация	Выбирается проект, обеспечивающий максимальный уровень перспективности	$se_{iHH}^i \rightarrow \max \quad (3)$

Окончательный выбор инновационного проекта для реального внедрения должен осуществляться с использованием критериев экономической эффективности, чтобы исключить возможность нерациональных затрат финансовых ресурсов на реализацию инновационно привлекательных, но экономически неэффективных (нерентабельных) проектов.

В связи с тем, что решение инфраструктурных проблем является важным на государственном уровне, целесообразно рассмотреть приоритетные критерии оценки инновационных проектов развития транспортно-логистической инфраструктуры (табл. 3).

Таблица 3

Приоритетные критерии оценки инновационных проектов развития транспортно-логистической инфраструктуры, отвечающие направлениям инновационного развития транспортной системы России

Направление инновационного развития транспортной системы России	Решаемые проблемы	Приоритетные критерии оценки инновационных проектов развития транспортно-логистической инфраструктуры
Применение инновационных технологий и материалов	Ресурсосбережение и экономичность транспортно-логистической инфраструктуры	Снижение себестоимости строительства и эксплуатации путей (дорог) для грузовых перевозок, складов для хранения грузов
Повышение качества и доступности транспортных услуг	Ликвидация несбалансированности транспортной сети	Повышение средней маршрутной и коммерческой скорости грузовых перевозок, рост объема грузовых перевозок и перевалки
Повышение уровня безопасности транспортной системы	Сохранение количества и качества перевозимых грузов	Отсутствие порчи и утраты (потери) перевозимых грузов
Опережающее развитие единой транспортной системы на основе прогнозирования спроса на услуги в транспортно-логистической сфере	Формирование баланса спроса и предложения на грузоперевозки, а также на услуги транспортно-логистической инфраструктуры	Уникальность транспортно-логистического сервиса (транспортно-логистической услуги) с высоким экономическим эффектом

В системе управления транспортно-логистической инфраструктурой выделяют следующие основные компоненты [4]:

- общие вопросы создания и функционирования транспортно-логистической инфраструктуры;
- эффективное использование складских (терминальных) площадей;
- государственно-частное партнерство как инструмент повышения востребованности и инвестиционной привлекательности проектов по транспортно-логистической инфраструктуре;
- развитие сети магистральных и вспомогательных путей.

Уже сегодня грузовые перевозки различными видами транспорта из конкурирующих, разрозненных транспортно-логистических услуг постепенно превращаются в комплементарные, интегрированные в рамках комплексного транспортно-логистического обслуживания, осуществляемого многопрофильными транспортными холдингами (логистическими операторами, осуществляющими формирование мультимодальных цепей поставок).

Как правило, в транспортно-логистической сфере в роли инноваторов выступают венчурные предприниматели, новые малые компании, а также отдельные специалисты транспортно-логистического бизнеса или команды таких специалистов.

Инновации в транспортно-логистической сфере открывают новые возможности для транспортных (логистических) компаний, регионов и стран и генерируют эффекты различного характера и масштаба.

Рассмотрим российскую практику инновационной деятельности в грузовых железнодорожных перевозках как сегменте транспортно-логистической сферы (табл. 4).

Таблица 4

Российские примеры инноваций в грузовых железнодорожных перевозках как сегменте транспортно-логистической сфере [5, 6]

Год	Железная дорога	Содержание инновации	Экономическая эффективность от внедрения инновации
2017	Калининградская	Впервые перегружен груз (уголь) из вагонов российского стандарта в подвижной состав европейской колеи, с дальнейшей отправкой на станцию назначения в Польшу. Для этого на станции Дзержинская-Новая в Калининграде была оборудована площадка по перегрузке угля из вагонов 1520 мм (российского стандарта) в подвижной состав колеи 1435 мм (евростандарт). При этом специалисты Калининградской железной дороги разработали новый маршрут транспортировки грузов через территорию Латвии и Литвы.	Повышение привлекательности и конкурентоспособности железнодорожного транспорта и данной российской железнодорожной станции. Снижение затрат времени на транспортировку
2018	Калининградская	Испытана новая транспортно-логистическая услуга: на станции Дзержинская осуществили параллельный перегруз составов из Германии и Китая. Контейнеры из Германии были перемещены на российскую колею, китайский груз – на железнодорожные пути евростандарта. Время на один перегруз – 2 минуты.	Значительное ускорение доставки продукции между КНР и ФРГ
2018	Южно-Уральская	Апробирована новая технология перевозки зерна. В целях вывоза железнодорожным транспортом предъявляемых объемов продукции зерно погрузили в полувагоны с полимерными вкладышами для защиты от атмосферных осадков.	Обеспечение сохранности груза при экспортной перевозке

Наряду с российским опытом инновационной деятельности в транспортно-логистической сфере рассмотрим зарубежную практику такой деятельности.

1. Инновационные полуприцепы (ISU system) – это новый способ погрузки полуприцепов вместо их перемещения на железнодорожную платформу с помощью кранового оборудования. При новом способе тягач остается на конечной станции. Пользователь системы ISU может осуществлять доставку и сборку на своем собственном парке технических средств. В результате для клиента достигается выгода в виде экономии денежных средств [7].

2. Гидравлическое подъемное устройство системы MOBILER позволяет оперативно и достаточно просто перегружать традиционные (стандартные) и swap body контейнеры между грузовым автомобилем и вагоном – без крана или других специальных приспособлений. С помощью этой технологии можно предложить индивидуальные логистические решения для всей цепочки поставщиков, по всей Европе [7].

3. В Швейцарии с 11 декабря 2016 г. функционирует новая система повагонных грузовых перевозок WLV (Wagenladungsverkehr), которая предлагает сбор и доставку отправок с частотой 3 раза в сутки вместо одного, как было ранее, включая бронирование места в поезде с удобным клиенту временем отправления. Согласно новой системе грузовые вагоны обрабатываются круглосуточно в три смены на таких крупных сортировочных станциях, как Лимматталь, Лозанна и Тичино. Продолжительность этих смен выбрана таким образом, чтобы исключить нежелательные «стыки» по расписанию движения пассажирских поездов в часы «пик» и гарантировать клиентам

доставку в установленные контактом сроки. Этот подход позволяет оптимизировать использование локомотивов, работу и численность машинистов [8].

При этом необходимо использовать резервы и возможности организационно-экономических механизмов и ресурсов управления инновационной деятельностью в транспортно-логистической сфере в условиях государственного регулирования рынка (табл. 5).

Таблица 5

**Организационно-экономические механизмы и ресурсы,
рекомендуемые к применению в транспортно-логистической сфере**

Экономическая категория	Трактовка (определение) экономической категории
<i>Организационно-экономические механизмы</i>	
Маркетинг рынка транспортных услуг (маркетинг на транспорте)	Выявление потребностей рынка в инновационных транспортно-логистических технологиях и услугах, формах организации продвижения таких услуг, а также внешних возможностей и резервов в инфраструктуре, процессах и ресурсах [9]
Логистический аутсорсинг	Передача стороннему исполнителю на контактной (договорной) основе некоторых прав (бизнес-функций или составляющих их компонентов), входящих в структуру управления транспортной организацией
Цифровизация	Инновационный механизм эффективного управления процессами и информацией, обеспечивающий синергетический эффект в транспортно-логистической сфере
Контроллинг	Комплексный (системный) организационный механизм регулирования, включающий в себя анализ, учет, контроль, оперативное управление, нормативно-правовую базу, отчетность
<i>Организационно-экономические ресурсы</i>	
Интеллектуальный капитал	Консолидированные опыт, знания и умения персонала транспортной организации, позволяющие эффективно решать задачи и достигать плановые значения целевых показателей [10]

По мнению авторов статьи, инновационная деятельность в транспортно-логистической сфере включает не только комплексную систему производительных сил, но и экономически обоснованную координацию как внутриорганизационных, так и межорганизационных взаимодействий.

Таким образом, современные теоретические и практические направления инновационной деятельности в транспортно-логистической сфере включают в себя три вектора:

- накопленный опыт формирования и функционирования транспортно-логистической инфраструктуры;
- организационно-экономические механизмы и ресурсы, рекомендуемые к применению в транспортно-логистической сфере.

Список литературы:

- [1] Фливбюрг Б. Мегaproекты: история недостроенных, перерасходов и прочих рисков строительства /Бент Фливбюрг, Нирльс Брузелиус, Вернер Ротенгаттер; Пер с англ. – М.: ООО «Альпина паблишер», 2013. – 288 с.
- [2] Кудрявцева А.В. Методология оценки социально-экономической перспективности транспортных инноваций // Экономика железных дорог. 2017. № 4. С. 62–68.
- [3] Мачерет Д.А., Измайкова А.В. Экономическая роль инноваций в долгосрочном развитии железнодорожного транспорта: монография. – М.: Изд-во МИИТ, 2016. – 162 с.

- [4] Служкина С.А. Инфраструктура и логистика промышленных предприятий: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2015. – 88 с.
- [5] Новая технология перевозки зерновых грузов на экспорт опробована в Оренбургском регионе ЮУЖД. [Электронный ресурс] –http://yuzd.rzd.ru/news/public/ru?structure_id=50&layer_id=4069&refererLayerId=3941&refererPageId=704&id=123303.
- [7] Богдан Лисек, Лилиан Крутоног Rail Cargo Logistics Czech – инновационный подход к развитию транспортных услуг // Инновации транспорта. 2016. № 1. С. 22–27
- [6] Терминал по перегрузке угля начал работу на станции Дзержинская-Новая Калининградской железной дороги [Электронный ресурс]. –http://kzd.rzd.ru/news/public/ru?structure_id=4059&layer_id=4069&refererLayerId=3307&id=4913.
- [8] SBB Cargo – новации в сфере повагонных перевозок // Железные дороги мира. 2017. № 5. С. 30–32.
- [9] Мордовченков Н.В., Сироткин А.А. Маркетинговые исследования на рынке транспортных услуг: учебное пособие. – Москва, 2017. 160 с.
- [10] Мордовченков Н.В., Сироткин А.А. Формирование и развитие компетенций по транспортно-экспедиционному обслуживанию в условиях рыночной экономики: теория, практика, перспективы: Учебное пособие / Нижний Новгород, 2016. 160 с.

MODERN THEORETICAL AND PRACTICAL TRENDS OF INNOVATIVE ACTIVITY IN THE TRANSPORT AND LOGISTIC SPHERE

N.V. Mordovchenkov, A.A. Sirotkin

Key words: *innovative activity; transport and logistic sphere.*

The evaluation method of transport and logistic projects including the evaluation criteria meeting the requirements to the results of innovative development of the transport and logistic sphere is developed. The role of the infrastructure in the innovative development of the transport and logistic sphere is considered. The Russian and foreign practice in rail freight transportation as a segment of the transport and logistic sphere is presented.

Статья поступила в редакцию 06.04.2018 г.

УДК 656.62.064

В.В. Цверов, д.э.н., доцент, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

А.В. Пучкова, логист, ООО «Автоглушитель»

603029, г. Нижний Новгород, ул. Памирская, 11.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА СКЛАДСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДОСТАВКИ В СРОК

Ключевые слова: *доставка в срок, стандарт на логистический процесс, организационные факторы сбоя при складском обслуживании.*

В статье рассмотрена возможность повышения надежности доставки продукции в срок за счет выявления дестабилизирующих складское обслуживание организационно-технологических факторов и снижения их влияния посредством совершенствования регламента процесса складского обслуживания.

Доставка в срок при поставках продукции является важнейшим критерием конкурентоспособности предприятия. Одним из основных факторов, влияющих на срок доставки, является своевременность отгрузки продукции со склада, которая в свою очередь зависит от надежности выполнения отдельных технологических операций складского процесса и согласованности действий отдельных технологических звеньев и отдела логистики.

Рассмотрим значимость различных организационно-технологических дестабилизирующих факторов на процесс складского обслуживания при отгрузке продукции со склада и возможность снижения их влияния для обеспечения доставки в срок на примере производственного предприятия среднего бизнеса ИП «А».

Задача организации бесперебойной и своевременной отгрузки товаров сборными партиями или отдельными евро-фурами до 20 тонн на предприятии «А» возложена на логиста компании.

В ходе проведения исследования на данном предприятии был выявлен ряд проблем, мешающих выполнению поставленной задачи. В основном, это происходило из-за недопониманий, возникающих между сотрудниками и отсутствия четко обозначенных обязанностей каждого работника.

Все решения в компании принимаются владельцем компании, либо по согласованию с ним. В компании 18 подразделений и более 500 сотрудников, что делает такой стиль работы весьма напряженным как для сотрудников, так и для руководства. В ходе исследования стало понятно, что ситуацию может изменить только грамотное разграничение зон ответственности между работниками и четкое описание их функционала.

На предприятии установлен следующий алгоритм работы по отгрузке продукции при поставках:

1. Менеджер получает заявку от клиента.
2. Менеджер передает информацию оператору по почте, либо в сообщении через корпоративный мессенджер. При розничном заказе согласует отправку через транспортную компанию (далее ТК) с отделом логистики.
3. Оператор заносит заявку в 1С:Бухгалтерия 8, выставляет счет.
4. Менеджер отправляет счет клиенту на оплату. Получает подтверждение от клиента о покупке (после этого клиент производит оплату, если не предусмотрена иная форма оплаты).
5. Менеджер проверяет оплату, документы и платежеспособность клиента при использовании услуги «отсрочка платежа».
6. Заявка заносится менеджером в систему «1С-Битрикс» к утвержденному времени («1С-Битрикс: Корпоративный портал» – программный продукт для создания внутрикорпоративного информационного ресурса, решающего коммуникационные, организационные и HR-задачи компании).
7. Оператор печатает четыре накладные на сборку и передает их на склад для сборки заказа (накладные передаются сразу после согласования).
8. Кладовщики собирают заказ, делают «вычерки» при отсутствии на складе позиций, которые еще числились в системе на остатках, проставляют количество паллет в системе «1С:Битрикс», либо указывают количество отдельных мест на накладной, если заказ розничный.
9. Дежурный кладовщик передает накладные в отдел логистики.
10. Логист распределяет накладные по автомашинам. Определяет порядок загрузки, нумеруя накладные.
11. Логист передает два экземпляра пронумерованных накладных на склад на сборку, для отчетности. А два экземпляра передает на склад на погрузку.
12. Ставится машина под погрузку.
13. Осуществляется загрузка автомашины.

14. Подготовленные документы (товарно-транспортная накладная, счета-фактуры, договора) передаются водителю.

Наблюдения за процессом позволили выявить причины сбоев в ходе отгрузки продукции со склада, приводящие к задержкам в отправке продукции от десяти минут до трех суток. Наблюдения проводились в течение семи месяцев, и позволили дать количественную оценку последствий по видам сбоев. Их результат приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Потери времени при доставке продукции из-за часто возникающих
организационно-технологических причин на складе предприятия «А»**

Причины сбоев	Потери времени, сут.			Частота возникновения, раз/год	Суммарные потери времени в год, сут.
	Минимум	Максимум	Средние		
Поздняя сдача накладной на погрузку менеджером	0,042	14	3,71	247	916,37
Не была предоставлена информация о графике ожидания товара клиентом	0,042	14	3,33	82	273,06
Опечатки при оформлении заказа в 1С:Бухгалтерия 8, либо на сайте транспортной компании	0,007	14	1,52	168	255,36
Отсутствие директора на рабочем месте	0,042	14	7	4	28
Неверный порядок погрузки, путаница на складе	0,021	0,125	0,84	24	20,16
Потеря накладной	0,021	0,125	0,39	24	9,36
Опечатка при занесении в «1С-Битрикс»	0,007	0,083	0,05	48	2,4
Итого				597	1504,71

Из табл. 1 видим, что потери времени из-за сбоев в выполнении операций в год существенны – они составляют 1504,71 суток.

На предприятии есть годами выработанный стиль управления, где практически все вопросы согласуются с ее владельцем (от реализации новых проектов до выбора поставщика по разовой сделке или замены ступенек на крыльце офисного здания). Персонал знает только свой обобщенный функционал, что рождает хаос и весомые простои в работе. Решением проблемы может стать конкретизация функционала. Создание описания алгоритма работы, включающего часто встречающиеся проблемные ситуации, чтобы работники, которые никогда не сталкивались с проблемой, знали как ее можно быстро решить.

Практически возможность возникновения каждого сбоя может быть устранена на уровне работников и руководителей подразделений, но для этого они должны иметь соответствующий инструментарий, согласованный с владельцем компании.

Обзор научно-методических исследований в области логистики [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] показал, что непосредственных исследований по учету влияния взаимосвязей подразделений логистики (и в частности склада) на сроки доставки и поставки на сегодняшний момент нет. Работы по организации складских процессов есть: так, Волгин В.В. [1] и Гаджинский А.М. [2], Эммет С. [11] дают качественное описание практически все складских операций и процессов, не увязывая их с доставкой в срок; Дыбская В.В. в докторской диссертации [3] и Грязнова О. в статье: «Взаимодействие

структурных подразделений компании для мобилизации потенциала складского хозяйства» [12], рассматривают взаимодействие структурных подразделений, но с другой целью – повышения эффективности самого склада. При этом ряд авторов считает целесообразным использование регламентации в логистических системах [2, 3, 13, 14, 15, 16], так как даже простое описание любого процесса повышает производительность труда на два процента. [2]

По нашему мнению, путем решения описанной проблемы является использования такого инструмента, как регламент на логистический процесс (ЛП) – включающий и взаимно увязывающий в единое целое регламенты выполнения каждой из отдельных его операций с целью повышения эффективности процесса в целом.

Методические подходы к разработке стандартов на ЛП даны в работах [15,16], в том числе с участием авторов [14, 17].

Функционирование цепей поставки (частью которой является цепь доставки) невозможно без взаимодействия ее звеньев (во внутренних цепях поставки – подразделений предприятия, являющихся звеньями этой цепи). Чтобы достичь успеха в управлении цепями доставки, необходимо четко организовать взаимоотношения между ее звеньями. Решению данной задачи возможно через регламентацию ЛП – регламент «Управление заказами на отпуск продукции со склада с учетом обеспечения доставки в срок», в котором увязываются все взаимосвязи участников этого процесса.

В рамках этого регламента необходимо создание индивидуального регламента для каждого звена (операции) внутренней цепи поставки.

Важным и требующим глубоких профессиональных знаний этапом управления ЛП является адекватное описание существующих бизнес-процессов и регламентация их рационального выполнения. Решения по надлежащему исполнению процессов могут быть реализованы лишь конкретными исполнителями работ. Необходимым инструментом эффективной реализации этих решений являются определение последовательности действий и состава конкретной документации по каждой операции. Это может обеспечиваться через разработку и использование стандартов (регламентов) на ЛП и выполнение в них операций. Во внутренних ЛП это стандарты предприятия. При разработке методического обеспечения на ЛП следует учитывать требование стандартов. Вместе с тем разработка рационального выполнения ЛП дополнительно требует учитывать принципы функционально-стоимостного анализа. Это позволяет эффективно совершенствовать организацию, способствует обеспечению гибкости выполнения процессов, что принципиально важно в условиях конкуренции и быстрого изменения рыночной среды.

С учетом научных разработок [14, 15, 16] и накопленного авторами опыта разработки регламентов на ЛП предлагается для формирования регламента на ЛП «Управление заказами на отпуск продукции со склада с учетом обеспечения доставки в срок» расширенный алгоритм разработки регламента на ЛП, приведенный на рис. 1.

Принципиально важно перед тем, как ввести в действие новый регламент, его проект обсудить со всеми заинтересованными лицами (знакомство, комментарии, предложения). Но после того, как обсуждение закончено, правки «задним» числом и несогласия не допускаются. При этом для поддержания регламента в актуальном состоянии руководитель отдела логистики должен контролировать использование регламентов, проверяя результат работы на предмет соответствия заданным параметрам качества и соответствии изменениям в бизнес-процессах.



Рис. 1. Предлагаемый алгоритм разработки регламента на логистический процесс

Наличие альтернативных вариантов исполнения операций являются действенным инструментом борьбы со сбоями в ЛПП и тем самым способным повысить надежность доставки продукции в срок. Разработанные авторами пути сокращения сбоев из-за возникающих организационно-технологических причин в рамках ЛПП «Управление заказами на отпуск продукции со склада с учетом обеспечения доставки в срок» приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Пути сокращению сбоев из-за часто возникающих
организационно-технологических причин в рамках ЛП
«Управление заказами на отпуск продукции со склада
с учетом обеспечения доставки в срок» на предприятии «А»**

Причина сбоя	Пути решения проблемы
1. Поздняя сдача накладной на погрузку менеджером	Введение информативной формы срока сдачи накладных (см. табл. 3)
	Введение штрафных санкций при несвоевременной сдаче накладных без уважительной причины. Контроль возлагается на руководителя отдела продаж
2. Менеджером была предоставлена ошибочная информация о графике ожидания товара клиентом, не указана невозможность проезда фур к складу грузополучателя	Разработать форму, которая будет крепиться к документам на отгрузку и накладным. Заказ на расписание автотранспорта принимается только при наличии полностью заполненной формы доставки (см. табл.4)
	Введение штрафных санкций при выявлении случаев, когда менеджер указал неверное время ожидания товара клиентом или иную информацию, которая влияет на график доставки. Контроль возлагается на руководителя отдела продаж
3. Опечатки при оформлении заказа в 1С-Бухгалтерия 8, либо на сайте транспортной компании	Создание инструкций для введения заказа в 1-С (см. табл. 5)
	Создание инструкций для введения заказа на перевозку на сайте перевозчика (см. табл. 5.)
4.Отсутствие директора на рабочем месте	Выдача заместителю директора доверенности на право подписания документов, не имеющих отношения к дальнейшему развитию компании (продление договоров, заявление на административный отпуск, выдача наличных средств и т.д.)
	Передача полномочий по решению спорных ситуаций заместителю директора по хозяйственной части
6. Путаница на складе / не была предоставлена информация о графике ожидания товара клиентом	Введение системы маркировки груза с указанием номера авто на коробках изделий и порядкового номера загрузки
4. Опечатка при занесении в Битрикс	Создание инструкций для введения заказа в «1С-Битрикс» (см. табл. 5.)
5. Потеря накладной	При отсутствии накладной на любом этапе выполнения заказа, оператор повторно распечатывает накладную, проставляет печати, росписи и передает заинтересованному лицу
	В обязанности кладовщика включить не только выписку товара и его погрузку в транспортное средство, но и соблюдение предусмотренной логистами и водителями очередности загрузки. При выявленных нарушениях в очередности погрузки, не согласованных с логистом, либо водителем, предусмотреть штраф для кладовщика: 500 руб./авто.

Таблица 3

Утвержденная информативная форма срока сдачи накладных

Крайнее время сдачи накладных	Направление
Понедельник до 12:00	Сибирь, Барнаул, Новосибирск, Омск, Иркутск, Красноярск, Кемерово и города расположенные на расстоянии не более 50 км от вышеназванных
Понедельник до 15:00	Йошкар-Ола, Киров, Сыктывкар
Вторник до 15:00	Н. Поволжье (Казань, Челны, Альметьевск) В. Поволжье (Вологда, Череповец, Ярославль, Кострома) Ульяновск, Чебоксары, Димитровград Рязань, Тула, Калуга
Четверг до 14:00	Север (Тюмень, Архангельск) Урал (Екатеринбург, Курган, Челябинск) Северо-запад (Санкт-Петербург, Великий Новгород, Петрозаводск, Псков)
Четверг до 15:00	Остальные направления: Тольятти, Самара, Оренбург Астрахань, Волгоград, Саратов, Волжский Саранск, Пенза Центр (Тамбов, Липецк, Воронеж, Орел) ЮГ (Ростов, Краснодар, Ставрополь) СНГ (Казахстан, Беларусь) Северный Кавказ (Дагестан, Махачкала) - отправка осуществляется по готовности заказа на фуру
Ежедневно до 12:00	Москва, Тверь, Гагарин, Вязьма, Владимир, Ковров - отправка осуществляется на следующий рабочий день
Ежедневно до 16:30	Нижний Новгород, Кстово, Бор, Первомайск - отправка осуществляется на следующий рабочий день.

В соответствии с разработанным регламентом заказ на автотранспорт принимается только при наличии полностью заполненной формы доставки (табл. 4). Эта форма должна будет крепиться к документам на отгрузку и накладным и должна значительно сократить сбои в процессе доставки из-за того, что менеджером была предоставлена ошибочная информация о графике ожидания товара клиентом или не указана невозможность проезда фур к складу грузополучателя.

Таблица 4

Бланк доставки

Наименование клиента	
Адрес выгрузки	
Режим работы склада	
Контактный номер на выгрузке	
Наличие подъезда к точке выгрузки	
Ожидаемая дата прибытия по графику	
Расчет на выгрузке наложенным платежом	
Необходимость помочь выгрузить товар на склад	

Разработанные инструкции для обеспечения сокращения сбоев по отдельным операциям ЛП приведены в табл. 5.

Таблица 5

Разработанные инструкции для обеспечения сокращения сбоя

Инструкции по выполнению операций	Состав действий по операции
1. Оформление заказа в «1С: Бухгалтерия 8»	1. Для оформления заказа покупателю перейдем в раздел «Продажи». Выберем пункт «Заказы клиентов». 2. Создаем новый документ. Указываем клиента. Нам нужно выбрать так же соглашение. И добавить товар, который хочет приобрести клиент. Укажем количество товара и его цену. Также нам необходимо указать желаемую дату отгрузки (оператору передает информацию о дате отгрузки менеджер). 3. На закладке «Дополнительно» нужно проверить заполнение этапов оплаты. Заполним их автоматически. И выберем вариант оплаты – «оплата наличными», «оплачен» «оплата через Али Экспресс», «частичная оплата», иначе программа нам не даст отгрузить данный товар. Нажимаем «Записать». Нажимаем кнопку «Провести и закрыть». И у нас создается документ «Заказы клиентов». 4. Введем «На основании» заказа клиента документы «Счет», «Счет-фактура», «Акт», «ТТН». 5. Перед отгрузкой вводим «На основании» заказа клиента документ «Реализация товаров и услуг». Система не позволяет нам ввести документ реализации товаров и услуг пока документ находится в статусе «к обеспечению» (на складе не осталось требуемого товара к отгрузке). Если товар в наличии, то вводим «На основании» – «реализация товаров и услуг». Здесь нам требуется на закладке «Дополнительно» указать подразделение. Укажем «отдел продаж». Создадим счет-фактуру. И проведем документ.
2. Заведение заказа в «1С-Битрикс»	1. Для добавления заказа в контекстной панели списка заказов есть кнопка [Добавить заказ], по нажатию которой открывается форма создания заказа. 2. Форма разделена на секции, быстро перейти к той или иной секции помогают специальные ссылки в панели Быстрая навигация. Содержимое секций можно сворачивать, а секции расположить в нужном порядке. 3. Заполнение формы создания заказа: По умолчанию первой секцией является секция Заказ, в которой указываются входящие в состав заказа товары. Можно добавить в заказ уже имеющийся товар, нажав на кнопку [Добавить товар], либо добавить новый товар (кнопка [Новый товар]), который после указания всех необходимых параметров останется в системе. Кнопка [Новый товар]... доступна только в том случае, если в настройках модуля Интернет-магазин отмечена опция «Разрешать добавлять новый товар в форме редактирования заказа». 4. Скидки можно отключить, сняв флажки с необходимых скидок в таблице состава заказа или удалив информацию о введенных купонах в поле «Промокод».
	5. В секции Покупатель вы можете выбрать уже имеющегося в системе покупателя, кликнув по кнопке [Найти], причем для него вы можете выбрать уже имеющийся профиль либо создать новый. Профиль покупателя нужен для того, чтобы каждый раз заново не вводить личные данные и данные для доставки: при выборе уже созданного профиля поля заполнятся автоматически. 6. Для добавления нового покупателя следует самостоятельно заполнить поля личных данных и данных для доставки. После сохранения заказа покупатель будет добавлен в общий список пользователей. 7. В секции Отгрузка выберите необходимую службу доставки. По умолчанию – собственный транспорт. 8. В секции Оплата выберите платежную систему, с помощью которой

Инструкции по выполнению операций	Состав действий по операции
	покупатель будет вносить оплату за заказ: наличные водителю, расчетный счет (предоплата), расчетный счет (отсрочка платежа). Если планируется проведение нескольких оплат по заказу, то добавьте необходимые документы оплаты.
3. Занесение заказа на доставку логистическим партнерам	Почта России. 1. На сайте отправлений почты России войти в личный кабинет (https://otpravka.pochta.ru/dashboard#/upload). 2. Чтобы рассчитать и оформить заказ, нажимаем «добавить» → «Создать». В появившемся окне заполняем необходимые поля. И внизу страницы видим ориентировочный срок доставки и стоимость отправления нашей посылки. Важно!!! Вес отправки должен быть введен точно. На заказах для отправки почтой России, сотрудниками сборки, должен быть проставлен вес каждой отправки. Иначе все наши заполненные формы окажутся неверными и проделанная работа – бессмысленной. 3. Если мы хотим оформить заказ, то нажимаем кнопку внизу: Сохранить отправление. Отправление сохраняется в Новых отправлениях. При щелчке по нему мы видим, что у нас была создана к передаче 1 отправка. Если заказов к отправке больше, то добавляем и создаем следующую отправление. 4. Когда все заказы к отправке введены, то мы выбираем галочкой те отправления, которые необходимо уедут сегодня и нажимаем кнопку «Подготовить к отправке». Таким образом, сотрудники почты могут увидеть в системе отправки и без лишних проводов принять товар. 5. Скачиваем архив, с документами и выводим на печать форму 103 (2 экз.) и форму 7 (1 экз.). Документы передаем вместе с накладными на город водителю. Энергия. 1. На главной странице нажимаем «Расчет стоимости». Вводим все необходимые параметры. Получаем стоимость перевозки. 2. Инструкцию по использованию личных кабинетов можно найти через путь: Личный кабинет → Инструкция для ЛК. URL: [https://nrg-tk.ru/instruktsiya-dlya-lichnogo-kabineta/] РАТЭК. На главной странице вводим пункт отправления, назначения, вес и объем. Нажимаем калькулятор. Вводим дополнительные параметры. И нажимаем кнопку «Рассчитать». Видим ориентировочную цену отправки. В личном кабинете можно просмотреть информацию по всем перевозкам
	ЖелДорЭкспедиция. Для расчёта на главной странице нажимаем левую кнопку мыши на пункт «онлайн-калькулятор». В онлайн калькуляторе указать вес, объем и пункты отправления и назначения. Нажимаем кнопку [Рассчитать]. Деловые линии. На главной странице вводим пункт назначения, отправления, нажимаем «Рассчитать между терминалами». Указываем дополнительные параметры, указываем дату приемки груза. Если требуется, доставку до адреса. Видим стоимость отправки в верхнем правом углу. В личном кабинете доступны все отправки. Байкал-сервис. На главной странице вводим пункты отправления, назначения, объем и вес. Нажимаем «Подробный расчет». Вводим значения габаритов. Ориентировочная стоимость отправки высветится справа в углу ПЭК. Вводим пункты назначения и отправления, вес, объем, либо габариты. Жмем «Рассчитать». Получаем результаты расчета. В личном кабинете можно видеть все отправки.

С учетом разработанных предложений по сокращению сбоев алгоритм ЛП «Управление заказами на отпуск продукции со склада с учетом обеспечения доставки в срок» на предприятии принимает вид, приведенный на рис. 2.

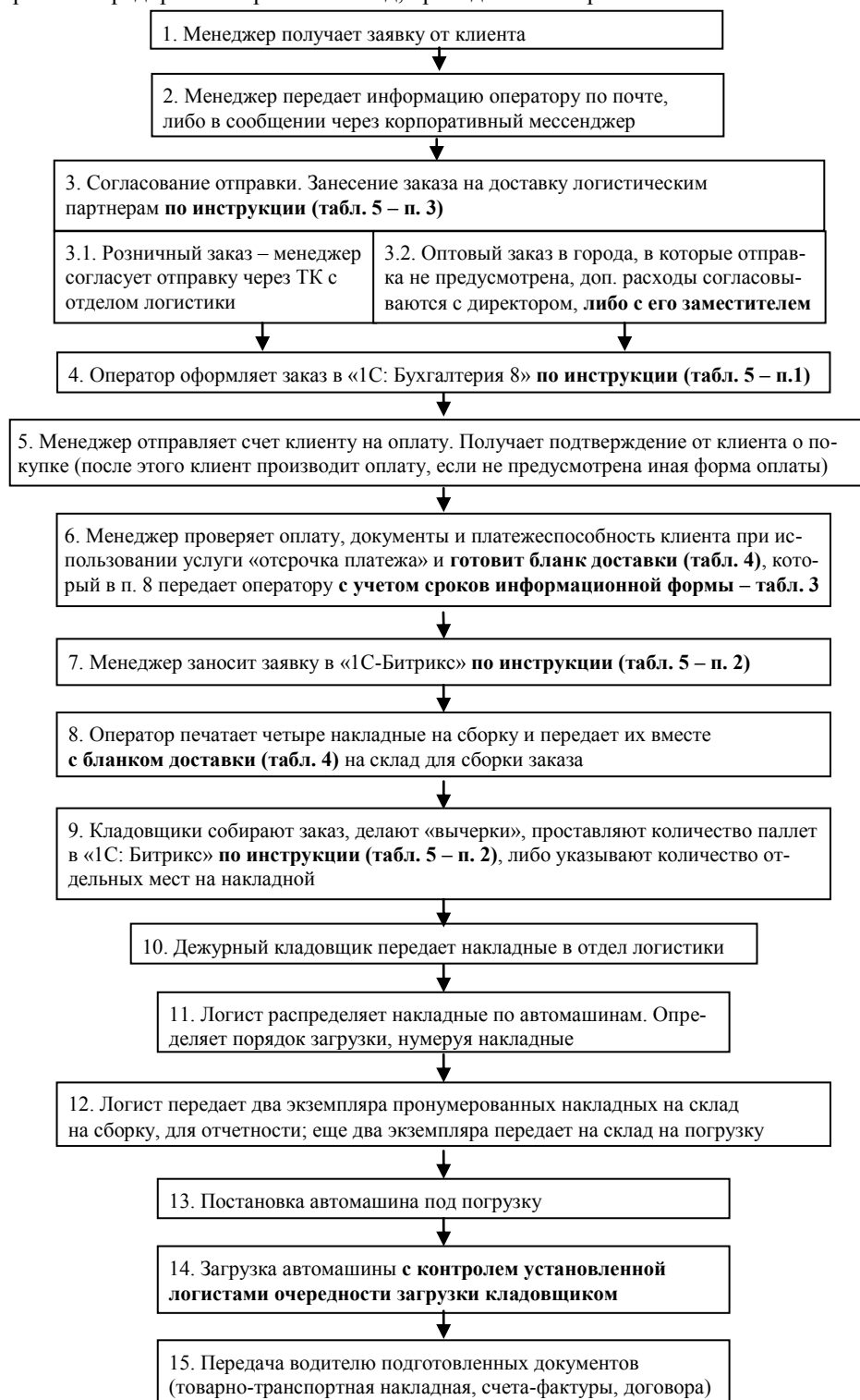


Рис. 2. Алгоритм ЛП предприятия «Управление заказами на отпуск продукции со склада с учетом обеспечения доставки в срок» (жирным шрифтом выделены разработанные меры по обеспечению сокращения сбоев)

Потери времени от часто возникающих сбоев в организации отгрузки продукции после внедрения регламента (рекомендаций исполнителям по вариантам исполнения операций) снизились более чем на 60% (табл. 6).

Таблица 6

Потери времени на решение часто возникающих проблем до и после внедрения разработанного регламента на ЛП

Описание проблемы	Суммарные затраты времени в год, сут.		Сокращение потерь времени за год, сут
	до внедрения рекомендаций	после внедрения рекомендаций	
Поздняя сдача накладной на погрузку менеджером	916,37	245,18	671,19
Не была предоставлена информация о графике ожидания товара клиентом	273,06	79,92	193,14
Опечатки при оформлении заказа в 1С:Бухгалтерия 8, либо на сайте транспортной компании	255,36	182,4	72,96
Неверный порядок погрузки, путаница на складе	20,16	-	20,16
Опечатка при занесении в «1С-Битрикс»	2,4	2,1	0,3
Отсутствие директора на рабочем месте	28	28	0
Потеря накладной	9,36	9,36	0
Итого	1504,71	546,96	957,75

Оценка эффективности введения регламента на ЛП «Управление заказами на отпуск продукции со склада с учетом обеспечения доставки в срок» на предприятии «А». Общий годовой доход (ОГД) составляет на предприятии 1,440 млрд. руб. в год.

Среднее количество заказов ($Q_{\text{ср}}$) 12000 в год, из них 17% оптовых и 83% розничных (порядка 10 000 розничных и 2000 оптовых заказов в год).

Продолжительность выполнения крупного заказа составляет в среднем 30 суток, мелкого – 7 суток; средняя продолжительность выполнения заказа 10,91 суток.

Средний доход от выполнения одного заказа составляет 120 000 руб.

Ликвидация причин, приводящих к сбоям, позволит получить дополнительный доход в размере:

$$\Delta Д = Дз \cdot \Delta Тп / Тз,$$

где $\Delta Д$ – возможный дополнительный доход в случае устранения причин задержек в выполнении заказов, руб./год;

$Дз$ – средний доход от выполнения заказа в организации, руб.;

$Тз$ – средняя продолжительность выполнения заказа в организации, сут;

$\Delta Тп$ – суммарная продолжительность сокращения потерь времени за год вследствие применения разработанных мероприятий, сут. Она определяется в виде суммы по каждой из причин сбоя.

За счет сокращения потерь времени можно выполнить дополнительно 87,79 заказа. Это позволяет получить дополнительный доход в размере 10 534 800 руб.

Таким образом, дополнительный доход компании может составить 10,5 млн. руб. или 0,73 % от ее общего годового дохода. Кроме того, количество сбоев в сроках выполнения заказа по рассматриваемым причинам сокращается с 597 до 272 – на 325 (более чем в два раза), что сокращает риск сбоя выполнению заказов в срок на 2,71 % заказов. Это повышает имиджевую составляющую конкурентоспособности компании.

Основные выводы и результаты:

1. Совершенствование процесса складского обслуживания является важным фактором повышения надежности доставки в срок;
2. Выявлены организационно-технологические факторы складского процесса, приводящие к сбоям в сроках доставки и поставок (см. табл. 1);
2. Определен инструмент, обеспечивающий совершенствование процесса складского обслуживания для повышения надежности доставки – регламент на ЛП «Управление заказами на отпуск продукции со склада с учетом обеспечения доставки в срок»;
3. Разработан методический подход к формированию регламента на ЛП (рис. 1);
4. Разработан регламент на ЛП «Управление заказами на отпуск продукции со склада с учетом обеспечения доставки в срок» предприятия «А». Аprobация регламента показала эффективность его применения для повышения надежности доставки в срок.

Список литературы:

- [1] Волгин В.В. Склад : логистика, управление, анализ /В.В. Волгин. – 11-е изд., перераб. И доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2015 – 724 с.
- [2] Гаджинский А.М. Современный склад. Организация, технологии, управление и логистика : учеб.-практич. пособие / А.М. Гаджинский. – М. : ТК Велби, изд-во Проспект, 2007. – 176 с.
- [3] Дыбская В.В. Логистическая организация и управление складированием на предприятиях оптовой торговли : дисс. ... док. экон. наук : 08.00.06 / Дыбская Валентина Владимировна. – СПб., 2000. – 329 с.
- [4] Лайсонс К. Управление закупочной деятельностью и цепью поставок / К. Лайсонс, М. Джиллинген; пер. с англ. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 798 с.
- [5] Линдерс М.Р. Управление снабжением и запасами. Логистика / М.Р. Линдерс, Х.Е. Фирон; пер. с англ. – СПб. : Виктория плюс, 2002. – 768 с.
- [6] Методические основы к обоснованию параметров комбинированных систем перевозок : монография / В.В. Цверов [и др.]. – Н.Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016. – 152 с.
- [7] Сток Дж.Р. Стратегическое управление логистикой / Дж.Р. Сток, Д.М. Ламберг; пер. с англ. – М. : ИНФРА-М, 2005, XXXII. – 797 с.
- [8] Уайт О.Ч. Управление производством и материальными запасами / О.Ч. Уайт; пер. с англ. – М. : Прогресс, 1978. – 304 с.
- [9] Уолтерс Д. Логистика: управление цепью поставок / Д. Уолтерс; пер. с англ. – М. : Юнити, 2003. – 503 с.
- [10] Цверов В.В. Логистические основы снабжения на речном транспорте: монография / В.В. Цверов. : Изд-во «LAMBERT Academic Publishing», 2016. – 276 с.
- [11] Эмметт С. Искусство управления складом : Как уменьшить издержки и повысить эффективность / Стюарт Эмметт; перевела с англ. В.А. Калюта. – Минск : Гревцов Паблишер, 2007. – 320 с.
- [12] Грязнова О. Взаимодействие структурных подразделений компании для мобилизации потенциала складского хозяйства / О. Грязнова // Логистика сегодня. – М., 2016-2018. [Электронный ресурс]. URL: <http://olgagryaznova.ru/warehouse1>.
- [13] Харрингтон Дж. Совершенство управления процессами: искусство совершенствования управления процессами / Дж. Харрингтон; пер. с англ. – М. : Стандарты и качество, 2007. – 189 с.

- [14] Цверов В.В. Обоснование параметров логистических процессов на складах и терминалах промышленности и транспорта : монография / В.В. Цверов, Н.Ф. Пермичев, Д.В. Хафин. – Н.Новгород: Издательство ГОУ ВПО «ВГАВТ», 2008.– 224 с.
- [15] Сотин В.В. Регламентация логистической системы предприятия / В.В. Сотин, Н.Б. Кондрабаев // Логистика сегодня [Электронный ресурс]. URL: <http://grebennikon.ru/article-mnws.html>.
- [16] Старченко В. Регламентация логистических процессов / В. Старченко // Деловой журнал: Время бизнеса [Электронный ресурс]. URL: <http://viktor.starchenko.ru/2012/09/blog-post.html>.
- [17] Цверов В.В. Методика разработки стандарта предприятия на логистическую активность / Росинформресурс. Информационный листок № 11-007-07. – Н. Новгород: Нижегородский центр научно-технической информации, 2007. – 3 с.

IMPROVING THE PROCESS OF THE WAREHOUSE SERVICE AS A FACTOR OF INCREASING THE RELIABILITY OF DELIVERY IN TIME

V.V. Tsverov, A.V. Puchkova

Key words: delivery in time, logistics process standards, organizational factors influencing failures in warehouse maintenance.

The article considers the possibility of the increasing of reliability of the delivery of products in time due to the identifying organizational and technological factors destabilizing warehouse maintenance and reducing their impact by improving the framework for the process of warehouse service.

Статья поступила в редакцию 16.03.2018 г.

Раздел IV

**Эксплуатация водного транспорта,
судовождение
и безопасность судоходства**



Section IV

***Operation of water transport, navigation
and safety of navigation***

УДК 656.6

В.Н. Виноградов, д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «КГМТУ»**Н.В. Ивановский**, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «КГМТУ»**Д.А. Новоселов**, старший преподаватель ФГБОУ ВО «КГМТУ»ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»
298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ СУДНА НА УПРАВЛЯЕМОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Ключевые слова: безопасность судоходства, оценка риска, математическая модель морского судна, автоматическое управление.

В статье рассматривается влияние случайных параметров судна, таких как: присоединенные массы воды и момент инерции, осадка судна и других, на траекторные характеристики движения, на управляемость и безопасность судна. Также в работе приведен универсальный критерий безопасности, который можно использовать при любых маневренных операциях судна и, в частности, при прохождении узкостей.

Введение

Задача анализа управляемости судна, т.е. способности нужным образом изменять характеристики движения судна (траекторию движения, угловое положение судна, угловую скорость вращения судна) при заданных управляющих воздействиях (продольной тяги, угла перекадки руля) является актуальной задачей для обеспечения безопасности судовождения. Эта задача становится особенно актуальной при прохождении судном узких проливов с крутыми поворотами, изменяющейся глубиной и в различных погодных условиях. Достоверное знание характеристик управляемости судна позволяет судоводителю или авторулевому правильно задавать управляющие воздействия и прогнозировать характеристики движения судна на момент прохождения судном наиболее опасных участков (крутых поворотов, мелководья, пролетов мостов).

Постановка задачи

Управляемое движение судна в горизонтальной плоскости в общем случае можно определить векторной системой нелинейных уравнений вида [1]

$$\frac{dX}{dt} = f(X, U/P) + \zeta(t), X(t_0) = X_0, \quad (1)$$

где

$X(t)$ – вектор фазовых координат, характеризующий движение судна;

$U(t)$ – вектор управляющих воздействий (силы и моменты от рулевого устройства и продольной тяги);

P – вектор параметров судна (масса, момент инерции, осадка, длина, ширина, коэффициенты сил и моментов и ряд других);

$\zeta(t)$ – векторный случайный процесс, определяемый случайными воздействиями волн, ветра, течением и другими факторами.

В качестве вектора фазовых координат выберем вектор $X = (x, y, v_x, v_y, \psi, \omega_z)$, где x, y – координаты судна в местной прямоугольной системе координат (МПСК), v_x, v_y – координаты вектора скорости судна в связанной системе координат (ССК), ψ – угол курса судна;

ω_z – угловая скорость вращения судна вокруг вертикальной оси [2].

Вектором управляющих воздействий является вектор $U = (n_{об}, \delta)$, где $n_{об}$ – частота вращения гребного винта (определяющая продольную тягу), δ – угол перекадки руля (определяющий силы и моменты, действующие на судно).

Для выбранных фазовых координат и управляющих воздействий в условиях тихой погоды и глубокой воды ($\zeta(t) = 0$) уравнение (1) запишется в виде

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= v_x \cos \psi - v_y \sin \psi, & \frac{dy}{dt} &= v_x \sin \psi + v_y \cos \psi \\ \frac{dv_x}{dt} &= (F_{xi}(v_y, \omega_z/m_{22}) + F_{xg}(v_x, v_y, \omega_z/T_{oc}) + F_{xr}(v_x, v_y, \omega_z) + T_v(v_x, v_y, n_{об})) / m_{11} \\ \frac{dv_y}{dt} &= (F_{yi}(v_x, \omega_z/m_{11}) + F_{yg}(v_x, v_y, \omega_z/T_{oc}) + F_{yr}(v_x, v_y, \omega_z, \delta)) / m_{11} \\ \frac{d\omega_z}{dt} &= (M_{zi}(v_x, \omega_z/m_{11}, m_{22}) + M_{zg}(v_x, v_y, \omega_z/T_{oc}) + M_{zr}(v_x, v_y, \omega_z, T_{oc})) / J_{zp} \\ \frac{d\psi}{dt} &= \omega_z, & X(t_0) &= (x(t_0), y(t_0), v_x(t_0), v_y(t_0), \omega_z(t_0), \psi(t_0)) \\ \frac{d\psi}{dt} &= \omega_z, & X(t_0) &= (x(t_0), y(t_0), v_x(t_0), v_y(t_0), \omega_z(t_0), \psi(t_0)) \end{aligned} \quad (2)$$

где силы и моменты определяются выражениями (1) и (2):

– силы инерции

$$F_{xi}(v_y, \omega_z/m_{22}) = \omega_z(v_y m_{22} + l_{26} \omega_z), \quad F_{yi}(v_x, \omega_z/m_{11}) = -\omega_z v_x m_{11}$$

– гидродинамические силы

$$F_{xg}(v_x, v_y, \omega_z/T_{oc}) = C_x(\beta)(1 - \bar{\omega}_z^2)q_1 S_c$$

$$F_{yg}(v_x, v_y, \omega_z/T_{oc}) = (C_y(\beta)(1 - \bar{\omega}_z^2) + C_{y\omega z} \bar{\omega}_z |\beta| - C_{y\omega z \omega z} \bar{\omega}_z |\bar{\omega}_z|)q_1 S_p$$

– сила продольной тяги

$$T_v(v_x, v_y, n_{об}) = T_x n_{об}^2 - K_v v n_{об}$$

– силы от перекадки руля

$$F_{xr}(v_x, v_y, \omega_z) = -C_{xr} q_2 S_r (\delta - \beta - \bar{\omega}_r)^2,$$

$$F_{yr}(v_x, v_y, \omega_z, \delta) = -C_{yr} (1 - (1 - \beta - 0.5 \bar{\omega}_r) p s r)^2 q_2 S_r (\delta - \beta - \bar{\omega}_r)^2$$

– момент инерции

$$M_{zi}(v_x, v_y, \omega_z/m_{11} m_{22}) = v_x v_y (m_{11} - m_{22}) - l_{26} v_x \omega_z,$$

– момент от гидродинамической силы

$$M_{zg}(v_x, v_y, \omega_z/T_{oc}) = (C_{mb} q - C_{m\omega z} \bar{\omega}_z q_1) S p L,$$

– момент от перекадки руля

$$M_{zr}(v_x, v_y, \omega_z/T_{oc}) = -F_{yr}(v_x, v_y, \omega_z, \delta) L_r \quad (3)$$

В выражениях (3) $m_{11} = m_c + \Delta m_{11}$, $m_{22} = m_c + \Delta m_{22}$ – масса судна с присоединенными массами воды; $J_{zp} = J_{zc} + \Delta J_{zp}$ – момент инерции судна с присоединенным моментом инерции воды;

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, v_1 = \sqrt{v^2 + (\omega_z L)^2}, v_2 = \sqrt{v^2 + (\omega_z L_r)^2}$$

– модули скоростей потока воды, соответственно, в районе центра масс судна, носа и руля;

$$\beta = -\arcsin \frac{v_y}{v} - \text{угол дрейфа};$$

ρ – плотность воды;

$$q = \frac{\rho v^2}{2}, q_1 = \frac{\rho v_1^2}{2}, q_2 = \frac{\rho v_2^2}{2} - \text{скоростные напоры};$$

$$\bar{\omega}_z = \frac{\omega_z L}{v_1}, \bar{\omega}_r = \frac{\omega_z L_r}{v_2} - \text{относительные угловые скорости}.$$

Параметры судна, такие как, L – длина судна, B – ширина судна, L_r – отстояние руля от центра масс, S_r – площадь руля и ряд других можно считать постоянными величинами. Гидродинамические коэффициенты сил и моментов зависят, как правило, от угла дрейфа и угловой скорости вращения судна и для конкретного судна определяются согласно выражениям, приведенным в [3].

Ряд параметров судна, такие, например, как Δm_{11} , Δm_{22} – присоединенные массы, ΔJ_{zp} – присоединенный момент инерции, T_{oc} – осадка судна и ряд других, являются случайными величинами. Эти случайные параметры можно определить как некоторые расчетные (номинальные) – неслучайные величины и случайные отклонения от расчетных значений. Очевидно, что характеристики управляемости каждого конкретного судна будут зависеть от реализовавшихся случайных параметров судна.

Задачей данной статьи является разработка математической методики (с использованием методов программирования), позволяющей анализировать влияние различных случайных параметров судна на характеристики управляемости при различных алгоритмах управления судном.

Задача анализа управляемости

Для заданных номинальных значений параметров судна P_o и заданных (опорных) управляющих воздействиях $U_o(t)$ определим опорные фазовые координаты $X_o(t)$ согласно уравнениям (2) и (3). Для истинных (реализовавшихся) значений параметров $P_i = P_o + \Delta P$ при тех же опорных воздействиях $U_o(t)$ фазовые координаты будут $X_i(t)$.

Очевидно, что $\Delta X(t) = X_i(t) - X_o(t) = \Psi(t, \Delta P/P_o, U_o(t))$ – будет некоторым случайным нелинейным векторным трендом относительно случайного вектора ΔP (при заданных значениях P_o , $U_o(t)$) [4]. Весьма общими показателями управляемости судна являются моментные характеристики случайного процесса $\Delta X(t)$.

Зная вероятностные характеристики случайного вектора ΔP (законы распределения вероятности или моментные характеристики), можно рассчитать методами статистического моделирования вероятностные характеристики вектора $\Delta X(t)$ и соответствующие им вероятностные характеристики управляемости судна.

Метод статистического моделирования является наиболее точным, но и наиболее сложным в вычислительном плане. В качестве приближенного метода расчета моментных характеристик вектора $\Delta X(t)$ можно использовать метод линеаризации уравнений (2), (3).

Вектор $\Delta X(t)$ (при известных вектор функциях $X_o(t)$, $U_o(t)$) удовлетворяет нелинейному дифференциальному уравнению

$$\frac{d\Delta X}{dt} = f(X_o(t) + \Delta X, U_o(t)/P_o + \Delta P) - f(X_o(t), U_o(t)/P_o), \Delta X(t_0) = 0, \quad (4)$$

где $f(*)$ – вектор-функция составленная из выражений правых частей уравнений (2).

Линеаризуя уравнение (4) относительно вектора функции $X_o(t)$ и вектора P_o получим линейное дифференциальное уравнение для вектора $\Delta X(t)$

$$\frac{d\Delta X}{dt} = A_X(X_o(t), U_o(t)/P_o)\Delta X - A_P(X_o(t), U_o(t)/P_o)\Delta P^{(k)}, \Delta X(t_0) = 0, \quad (5)$$

где матрицы $A_X(*)$, $A_P(*)$ – составленные из частных производных вектора $f(*)$ по вектору X и по вектору P

$$A_X(*) = \left(\frac{\partial f}{\partial X} \right)_{P_o, X_o}, A_P(*) = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial P} \right)_{P_o, X_o}, \left(\frac{\partial^2 f}{\partial P^2} \right)_{P_o, X_o}, \dots, \left(\frac{\partial^k f}{\partial P^k} \right)_{P_o, X_o} \right].$$

Случайный вектор $\Delta P^{(k)}$ – вектор нижней кронекеровской степени (6).

Решение уравнения (5) определяется выражением (7)

$$\Delta X(t) = \Phi(t) \int_{t_0}^t \Phi^{-1}(\tau) A_P(X_o(\tau), U_o(\tau)/P_o) d\tau \Delta P^{(k)} = \Sigma(t) \Delta P^{(k)}, \quad (6)$$

где $\Phi(t)$ – матрица фундаментальных решений уравнения (5), удовлетворяющая матричному дифференциальному уравнению

$$\frac{d\Phi}{dt} = A_X(X_o(t), U_o(t)/P_o)\Phi, \quad \Phi(t_0) = I - \text{единичная матрица}$$

Моментные характеристики вектора $\Delta X(t)$ (математическое ожидание и дисперсионная матрица) определяются выражениями

$$M\Delta X(t) = \Sigma(t) \Delta \bar{P}^{(k)}, \quad K_{xx}(t) = \Sigma(t) K_{pp} \Sigma^T(t), \quad (7)$$

где K_{pp} – дисперсионная матрица вектора $\Delta P^{(k)}$

$$K_{pp} = M(\Delta P^{(k)} - \Delta \bar{P}^{(k)})(\Delta P^{(k)} - \Delta \bar{P}^{(k)})^T.$$

Для различного вида маневра судна можно рассматривать частные показатели управляемости судна. Так, например, при маневре установившейся циркуляции в качестве частных показателей управляемости могут рассматриваться моментные характеристики отклонения центра и радиуса циркуляции от опорных значений. При прохождении судном узких проливов частными показателями управляемости могут являться отклонения управляющих воздействий от допустимых (опорных) значений, моментные характеристики отклонений: координат центра масс судна от заданных координат пролива, курса судна и его угловой скорости вращения. В качестве количественной величины управляемости и безопасности прохода судном узкого пролива предлагается рассматривать нормированную среднеквадратическую величину риска

$$R = \int_{\Omega} \left[F(\Delta P) \frac{1}{T} \int_{t_0}^T [\Delta X(\tau) Q(\tau) \Delta X^T(\tau) + q(\tau) \delta(\tau)^2] d\tau \right] d\Delta P, \quad (8)$$

где

$F(\Delta P)$ – априорный закон распределения вероятности вектора параметров ΔP ;

Ω – область возможных значений ΔP ;

$Q(\tau)$ – диагональная неотрицательно определенная матрица весов вектора $\Delta X(\tau)$;

$q(\tau)$ – неотрицательная функция веса отклонения руля.

Будем считать, что при нахождении $\Delta X_i(\tau)$ i -той координаты и отклонения руля в заданных пределах не увеличивает риск (8). Таким образом

$$Q_{ii}(\tau) = 0, \text{ при } |\Delta X_i(\tau)| < \Delta_i, q(\tau) = 0, \text{ при } |\delta(\tau)| < \delta_m.$$

Результаты анализа управляемости и судна

Для решения задачи анализа управляемости судна и расчета количественных показателей управляемости была разработана статистическая модель (программно реализованная на Matlab. Приложение) движения судна в горизонтальной плоскости и проведены расчеты для судна типа «Волго-Балт».

В качестве случайных параметров судна рассматривались величины Δm_{11} , Δm_{22} , ΔJ_{zp} , ΔT_{oc} . Эти случайные величины считались взаимно независимыми, распределенными по равномерному закону вероятности в интервалах, составляющих $K\%$ (порядка 0–20%) от расчетных значений. Все остальные параметры и гидродинамические коэффициенты модели рассчитываются согласно [3] и приведены в Приложении.

Методом статистического моделирования [5] для установившейся циркуляции и для маневра движения судна по заданной опорной траектории при максимальном числе оборотов винта и заданном линейном алгоритме управления рулем судна [6] были проведены расчеты реализаций случайных траекторий и определены вероятностные характеристики отклонений фазовых координат модели движения судна от опорных.

На Рис. 1 приведены траектории циркуляций судна для опорных значений m_{11} , m_{22} и случайных значений $\Delta m_{11}=4,8$ тс, $\Delta m_{22}=163,9$ тс, ($\Delta m_{11}=-4,8$ тс, $\Delta m_{22}=-163,9$ тс), что составляет 10% от расчетной присоединенной массы.

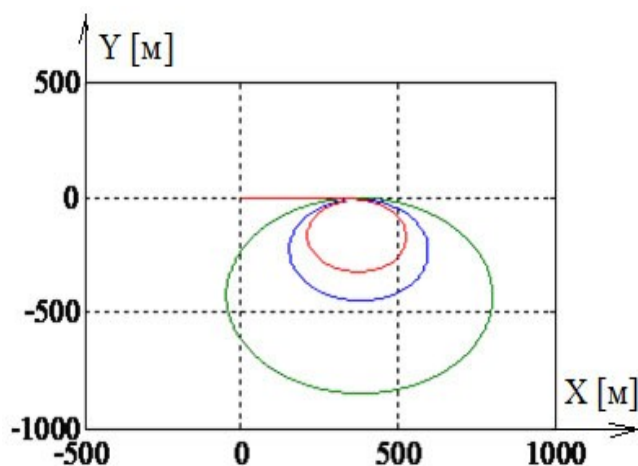


Рис. 1. Траектории циркуляций

На Рис. 2 приведены гистограмма и аппроксимация закона распределения вероятности радиуса циркуляции при моделировании случайных реализаций Δm_{11} , Δm_{22} , ΔJ_{zp} , ΔT_{oc} . В качестве аппроксимации гистограммы выбран закон Вейбулла [7].

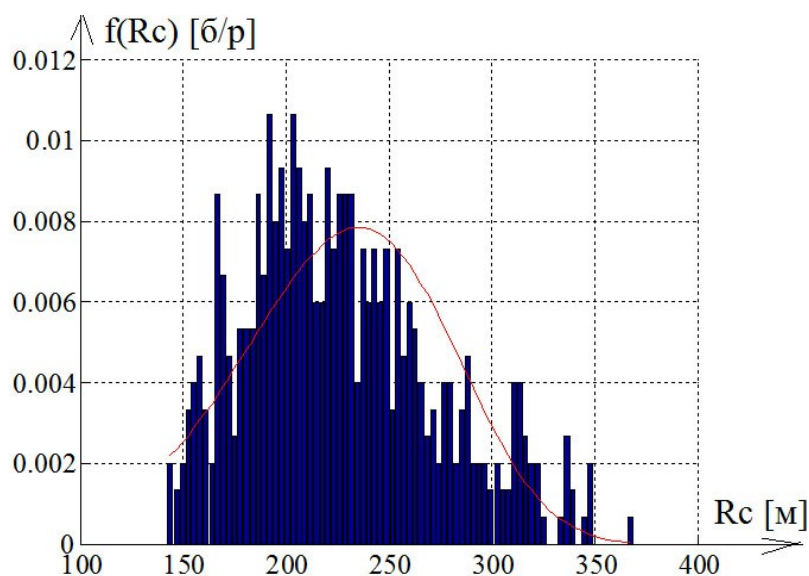


Рис. 2. Гистограмма и аппроксимация распределением Вейбулла

При анализе движения судна по заданной опорной траектории представляют интерес максимальные значения: угла отклонения руля, требуемого для удержания судна на опорной траектории, угла курса, угловой скорости вращения судна [8]. При превышении максимальных значений вышеперечисленных величин ситуация прохождения узкого пролива считается опасной. В статье анализируется риск возникновения опасной ситуации.

На Рис. 3 приведены опорная и реальная траектории, на Рис. 4 управляющие углы отклонения руля на этих траекториях. На Рис. 5. приведен риск безопасности проводки судна в зависимости от интервала ошибки присоединенного момента инерции (в процентах).

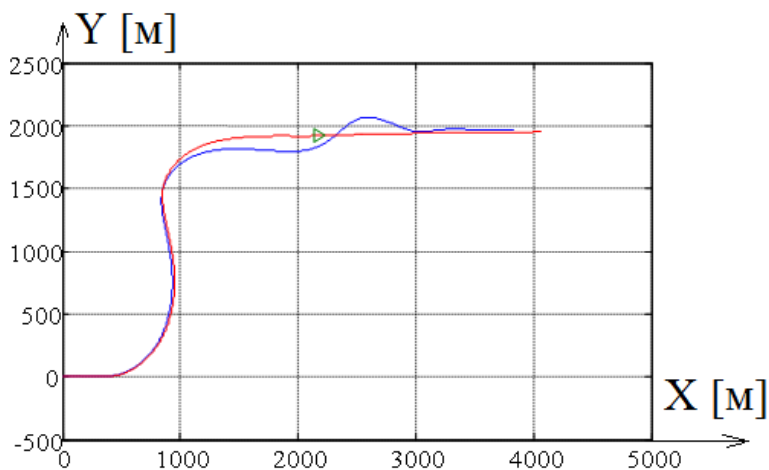


Рис. 3. Траектория судна

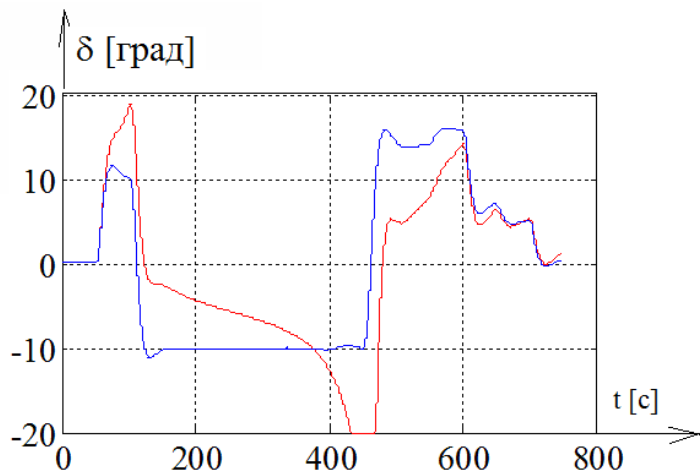


Рис. 4. Перекладка руля на опорной и реальной траектории

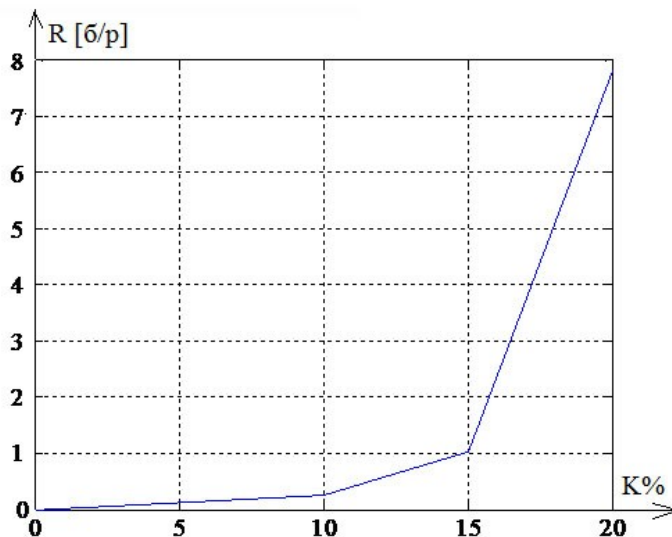


Рис. 5. Риск от процента интервала случайных параметров

Пример

Для иллюстрации анализа влияния случайных параметров на управляемость судна (типа «Волго-Балт») рассмотрим простой пример расчета среднеквадратической ошибки (СКО) угловой скорости вращения σ_ω и курса σ_ψ при циркуляции судна в зависимости от реализации случайной величины присоединенного момента инерции ΔJ .

Уравнения углового движения судна приближенно можно записать в виде

$$\begin{aligned} \frac{d\omega_z}{dt} &= \frac{K_\omega \omega_z + K_0 + K_\delta \delta}{J_0 + \Delta J}, & \omega_z(0) &= 0 \\ \frac{d\Psi}{dt} &= \omega_z, & \Psi(0) &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

где, согласно (2), (3) $K_\omega = -28\,665 \text{ тсм}^2/\text{с}$, $K_0 = 185,2 \text{ тсм}^2/\text{с}^2$, $K_\delta = -739,2 \text{ тсм}^2/\text{с}^2$,

Угловая скорость и курс судна (при постоянном отклонении руля $\delta = \delta_0 = \pi/6$) являются решением уравнений (9) и определяются выражениями

$$\begin{aligned}\omega_z(t) &= \omega_{yc}(1 - e^{K_\omega t/(J_0 + \Delta J)}), & \omega_{yc} &= -\frac{K_\delta + K_\delta \delta_0}{K_\omega} \\ \Psi(t) &= \omega_{yc} \left(t + \frac{J_0 + \Delta J}{K_\omega} (e^{K_\omega t/(J_0 + \Delta J)} - 1) \right)\end{aligned}\quad (10)$$

Следует отметить, что установившаяся угловая скорость ω_{yc} не зависит от присоединенного момента инерции и в данном примере $\omega_{yc} = -1,14$ град/с.

Отклонения (ошибки) угловой скорости и курса судна от опорных значений в зависимости от реализации случайной величины ΔJ в линейном приближении запишем в виде

$$\Delta\omega_z(t) = \omega_{yc} e^{\frac{K_\omega t}{J_0}} \frac{K_\omega t \Delta J}{J_0}, \quad \Delta\Psi(t) = \omega_{yc} \left(\frac{J_0}{K_\omega} (e^{K_\omega t/(J_0 + \Delta J)} - 1) - t e^{\frac{K_\omega t}{J_0}} \right) \frac{\Delta J}{J_0}$$

и, соответственно

$$\sigma_\omega(t) = \omega_{yc} e^{\frac{K_\omega t}{J_0}} \frac{K_\omega t \sigma_{\Delta J}}{J_0}, \quad \sigma_\Psi(t) = \omega_{yc} \left(\frac{J_0}{K_\omega} (e^{K_\omega t/(J_0 + \Delta J)} - 1) - t e^{\frac{K_\omega t}{J_0}} \right) \frac{\sigma_{\Delta J}}{J_0}$$

На Рис. 6 представлены СКО $\sigma_\omega(t)$, $\sigma_\Psi(t)$ от времени в предположении, что случайная величина ΔJ распределена равномерно в интервале $[-0,2J_0; 0,2J_0]$, $\sigma_{\Delta J} = 0,2J_0/\sqrt{3}$

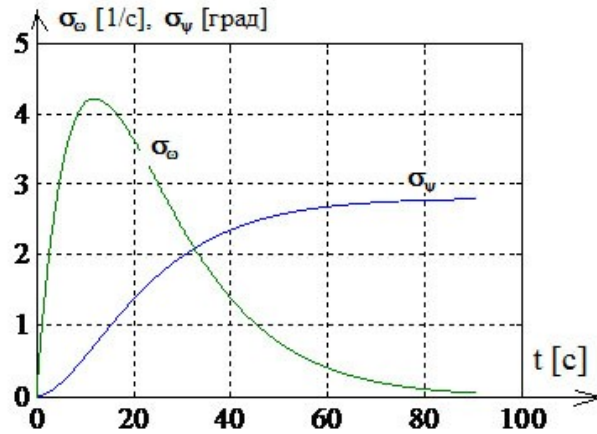


Рис. 6. СКО угловой скорости и угла курса

Выводы

Движение судна зависит от большого числа параметров, часть из которых может принимать случайные значения. Для управления судном и обеспечения безопасности прохода узких проливов необходимо анализировать характеристики движения судна. Ввиду сложного и нелинейного характера зависимости характеристик движения судна от случайных параметров анализ характеристик движения возможен только с использованием статистических математических моделей. В статье разработана такая модель и её программная реализация. В качестве критерия безопасности предлагается использовать величину риска (8). Минимизируя величину риска по управляющим воздействиям можно синтезировать оптимальный алгоритм управления судном.

Приложение. Программная реализация задачи анализа

```

clear all,clc, format long
Npl=menu('Траектории','Npl=1,Правый борт','Npl=2,Левый борт','Npl=3,Маневр');
% Параметры
gz=9.81;%Ускорение притяжения Земли Земли [м/с2]
ro=1/gz;%Плотность массы морской воды тс*с2/м4
Rc=6378245;%Радиус Земли
% Параметры судна типа "Волго-Балт"
Lm=114;%Длина судна максимальная м
L=110;%Длина судна между перпендикулярами м
Lr=56;%Расстояние до руля
B=13.2;%Ширина судна м
T=3.6;%Осадка
Ayc=Lm*T;%Условная площадь
Cb=0.6;%Коэффициент.общей полноты
W=Cb*L*T*B;%Водоизмещение
mc=W*ro;%Масса судна
Sm=pi*L*T/4;%Площадь по миделю (Аппроксимация. эллипсоидом)
bm=Sm/Ayc;%Коэффициент полноты площади по миделю
fi=Cb/bm;% Коэффициент полноты
Scp=L*T*(1.36+1.13*Cb*B/T);%Площадь смоченной поверхности В. Т. 1.стр. 221
gz=0.25;%Относительный радиус инерции
Jzz=mc*gz^2*L^2;%Момент инерции
Dr=2.5;%Диаметр руля м
Sr=8.1;%Площадь руля и рудерпоста в струе м^2
lamr=Dr^2/Sr;%Относительное удлинение пера руля
my=2*pi*lamr/(2+lamr);%Градиент поперечной силы
psr=0.3*Cb;%К оэффициент. попутного потока
Trp=28;%Время перекладки руля (-35+30) с
%Параметры винта
vm=5.25;%Максимальная скорость м/с
nv=3.5;%Число оборотов винта в секунду
Tx=7.74;%Тяга гребного винта тс*(с/об)^2
Kv=0.8;%Коэф. сопротивления винта
Tvm=Tx*nv^2-Kv*vm*nv;%Максимальная тяга винта тс
sigcr=0.98;
Cxo=2*Tvm/(ro*vm^2*sigcr*Ayc);%Коэффициент лобового сопротивления
if Cxo>=0.075
    Cxo=0.035;end
Cybom=0.44-1.73*(1-Cb)*T/B; Cyomom=-0.48*(1-Cb)*T/B;
Cmbomom=0.06-0.42*Cb*T/B;
k66r=(1.03-1.76*B/L)*2*T/B;
k11r=(0.465*B/L-0.028)*2*T/B;
k22r=(1-0.5*B/L)*2*T/B;
Jzp=Jzz*(1+k66r);
m11=mc*(1+k11r);m22=mc*(1+k22r);
Cyb4=0.047;m4o=0.0252;
Cxrd=1.12; sig=0.962;
%Расчет динамических коэффициентов
Ap=sig*T*L; D=L*sig*ro*W; M26c=0.1*Cb*B*(m22-mc)/D;
Ap=sig*L*T; l26=-M26c*ro*L^2*Ap/2;
%Расчет угла PSx для Cx
Pc= 1.0e+08*[0.486116762218133,-2.841218573445878,6.918609696170553,...
-8.984495567954255,6.562263587845182,-2.556086980771564,0.414811091737741];
Xsig=[sig^6;sig^5;sig^4;sig^3;sig^2;sig;1]; PSx=Pc*Xsig;
%Расчет коэффициентов. Cmom,Cyb Cyb2
dTL=T/L;dLB=L/B;
Cmom=(0.739+8.7*dTL)*(1.611*sig^2-2.873*sig+1.33);
a2b=16.67*dTL^2-11.92*dTL+0.06;

```

```

b2b=-261.1*dTL^2+213.6*dTL-2.468;
a3b=0.2392*fi^2-0.4009*fi+0.1815;
b3b=0.4033*fi^2-0.6965*fi+0.3263;
ab=-1.5*sig+0.985; bb=2000*sig^2-3894*sig+1901;
U=ab*dLB+bb; BB=a2b*U+b2b;
Cyb=a3b*BB+b3b;
%Расчет коэф. Cybb (C2)
a3bb=dTL^2+0.85*dTL+0.0311; b3bb=-55*dTL^2+7.85*dTL+0.124;
a1bb=54.46*fi-59.43; b1bb=-31.44*fi+46.8; Ub=a1bb*sig+b1bb;
a2bb=-0.005*Ub^2-0.015*Ub+0.81; b2bb=0.03*Ub^2-0.89*Ub+3.76;
Bbb=a2bb*dLB+b2bb;
Cyb2=a3bb*Bbb+b3bb;
%Расчет коэф. моментов m1,m2,m3,dm4
am=-0.1317*dTL^2+0.05358*dTL+0.000181;
bm=-2.361*dTL^2+0.8653*dTL-0.000161;
am1=31.26-9.0146*exp(0.066947*dLB);
bm1=8.6245*exp(0.071419*dLB)-31.26;
am2=(exp(8.20939*fi)*0.0007728-1.873)*0.001;
bm2=(-exp(7.47893*fi)*0.004404+5.709)*0.01;
Um=(am1*sig+bm1)/(sig-1.029);
m3=am2*Um+bm2;
Uo=-210*sig^2+422.9*sig-207.2; SIGf=12*fi^2-8.8*fi-0.64;
U=Uo+SIGf; SIGu=-1.3*U+7.8;
SIGvo=0.02333*dLB^2-0.045*dLB+1.187; SIG=SIGvo+SIGu;
m1=am*SIG+bm; m2=-log(1.023*sig)/(11.6*sig-9.29);
%Начальные условия
n=nv; vx=0; vy=0; vz=0; omz=0; fic=0; omr=0;
v=sqrt(vx^2+vy^2); x=0; y=0; xt=0; yt=0; Vc=[vx;vy];
Mmc=[cos(fic),-sin(fic);
      sin(fic),cos(fic)];
Vm=Mmc*Vc; Xkk=[x;y];
if v>0;
bet=-asin(vy/v); else bet=0; end
t=0; dt=0.05; Tc=800; Tr=50; n=nv; dy=0;
%Регистрируемая информация
bt=[]; bv=[]; bbet=[]; bomz=[]; bdy=[]; bx=[]; by=[]; bxt=[]; byt=[];
%Рисунок Горизонтальной плоскости
aln=0.002/57.3; Db=3000; dxg=10; Rc=6378245; Tk=0;
xgz=Rc*sin(Db/Rc):-dxg:0; yr=(-Rc+sqrt(Rc^2-xgz.^2)); xn=xgz; ycn=tan(aln)*xn;
TplReg=0;j=0; strColorG1='k'; strColorG2='k'; dTplGr=10; TplGr=0;j0=1;
clf,hold on
if Npl==1
axis([100 650 -20 500]); dyt=65/28; end
if Npl==2
axis([100 650 -500 20]); dyt=-65/28; end
if Npl==3
axis([0 2500 -20 2500]); end
n=nv; Tcm=35; dTr=35;
plot(xn,ycn,xn,yr),xlabel('Траектория судна Волго-Балт '),grid
%Счет по времени
while t<=Tc
bt=[bt;t]; bv=[bv;v]; bbet=[bbet;bet]; bomz=[bomz;omz]; bdy=[bdy;dy]; bx=[bx;x]; by=[by;y];
Cy=0.5*Cyb*sin(2*bet)*cos(bet)+(Cyb2*sin(bet)^2+Cyb4*sin(bet)^4)*sign(bet);
Cx=-0.075*sin((pi-asin(Cxo/0.075))*(1-abs(bet)/PSx));
Cmb=m1*sin(2*bet)+m2*sin(bet)+m3*sin(2*bet)^3+sign(bet)*m4o*sin(2*bet)^6;
dTdvx=m11*vx; dTdvym22*vy+l26*omz;
%Инерционные силы и моменты
Fxi=omz*dTdvym22*vy+l26*omz; Fyi=-omz*dTdvx; Mzi=-vx*dTdvym22*vy+l26*omz;
Tv=Tx*n^2 -Kv*v*n; %Сила тяги винта при n оборотах

```

```

% Алгоритм перекладки руля
if Npl==1|Npl==2
if t>=Tr
dy=dyt*(t-Tr);
if abs(dy)>=30
dy=30*sign(dy);end end end
if Npl==3
if t>=Tr&t<Tr+50
dyt=65/28;dy=dyt*(t-Tr);
if (dy)>=10
dy=10;end end
if t>=(Tr+50)&t<=450
dyt=-65/28;dy=10+dyt*(t-Tr-50);
if (dy)<=-10
dy=-10; end end
if t>450&t<=550
dyt=65/28; dy=-10+dyt*(t-450);
if (dy)>=14
dy=14; end end
if t>550&t<=600
dyt=-65/28;
dy=14+dyt*(t-550);
if (dy)<=15.5
dy=15.5; end end
if t>=600&t<=700
dyt=-65/28; dy=15.5+dyt*(t-600);
if (dy)<=7.1
dy=7.1; end end
if t>700
dy=-200*(bet+omr)*57.3;
if abs(dy)>=30
dy=30*sign(dy); end end end
dy=dy/57.3;
%Силы и моменты от руля
if v>0;
bet=-asin(vy/v); else bet=0; end
aly=dy-(bet+omr); VLR=v^2+(omz*Lr)^2; VL=(v^2+(omz*L)^2);
if v>0;
OMb=omz*L/sqrt(VL); omr=omz*Lr/sqrt(VLR);om=omz*L/sqrt(VLR);
else OMb=0;omr=0; end
if abs(OMb)>=1
OMb=1*sign(OMb); end
betk=bet+omr/2;
%Гидродинамические силы и моменты
%От руля
Fxr=Cxrd*ro*Sr*aly^2*VLR/2; Fyr=-my*(1-(1-betk)*psr)^2*ro*Sr*aly*VLR/2;
Mzr=-Fyr*Lr;
%От корпуса
Xg=-Cx*(1-OMb^2)*ro*Scp*VL/2;
Yg=(-Cy*(1-OMb^2)-Cybom*OMb*abs(bet)+Cyomom*OMb*abs(OMb))*ro*Ap*VL/2;
Mzg=(Cmb*v^2-Cmom*OMb*VL)*ro*Ap*L/2;
%Результитующие силы и моменты
Fx=Fx1-Fxr-Xg; Fy=Fy1+Fyr-Yg; Mz=Mz1+Mzr+Mzg;
fic=fic+omz*fit*dt; fiv=fic-bet;%Курс скорости
if abs(fic)>=2*pi
Tpr=t-Tr; break end
Mmc=[cos(fic),-sin(fic);
sin(fic),cos(fic)];
Vm=Mmc*Vc; Xkk=Xkk+Vm*dt;x=Xkk(1);y=Xkk(2); xt=Vm(1);yt=Vm(2);

```

```

vx=vx+Fx*dt/m11;vy=vy+Fy*dt/m22;v=sqrt(vx^2+vy^2);Vc=[vx;vy]; omz=omz+Mz*dt/Jzp;
if t>=TplReg % Регистрация в темпе 1 гц
    pMsg3=1; TplReg=TplReg+1; j=j+1; vT(j)=t; vXk(j)=Xkk(1); vYk(j)=Xkk(2);
if t>=TplGr% Вывод графиков с прореживанием
    if dt==0.05,dTplGr=1;end
    TplGr=TplGr+dTplGr;
    if j>1
        if t>=Tk+1,strColorG2='r';end
    plot([vXk(j0) vXk(j)],[vYk(j0) vYk(j)],strColorG2),...
        title(['T - разворота= ' num2str(t-Tr)]),drawnow
    j0=j; end end end
t=t+dt; end, clf,hold off
plot(bt, bdy*57.3,'r'),
set(gca,'FontName','Times New Roman Cyr','FontSize',14)
xlabel('Перекадка руля (град) от времени (с)'),
grid,pause
plot( bx,by),
set(gca,'FontName','Times New Roman Cyr','FontSize',14)
xlabel('Траектория судна'),
grid,pause
plot( bt,bbet*57.3)
set(gca,'FontName','Times New Roman Cyr','FontSize',14)
xlabel('Угол дрейфа bet (град) от времени (с)'),
grid,pause

```

Список литературы:

- [1] Дмитриев С.П., Пелевен А.Е. Задачи навигации и управления при стабилизации судна на траектории. С-Петербург «Электроприбор». 2004.
- [2] Мальцев А.С., Ивановский Н.В. Аналитический метод построения траектории маневрирования инверсным методом / Рыбное хозяйство Украины, 2008. – №5(58). – с. 53–56
- [3] Справочник по теории корабля. Т. 3. Под редакцией Я. И. Войткуновского. Л: «Судостроение», 1985.
- [4] Беллман Р. Введение в теории матриц. М: Наука, 1979.
- [5] Виноградов В.Н. Корреляционная теория фильтрации и управления многомерными случайными процессами. М: Красанд. 2011.
- [6] Fossen Thor I.,Guidance and Control of Ocean Marine Vehicles. John Wiley and Sons Ltd.New York, 1994.
- [7] Ruoshi Cha, Decheng Wan, Numerical Investigation of Motion Response of Two Model Ships in Regular Waves. Procedia Engineering, Volume 116, 2015, pp. 20–31. DOI:10.1016/j.proeng.2015.08.260
- [8] Kramar V. Investigation of Changes and Development of Mathematical Model for a Drilling Vessel. Proceedings of the 26th DAAAM International Symposium, pp.0049-0055,B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-07-5, ISSN 1726-9679, Vienna, AustriaDOI:10.2507/26th.daaam.proceedings.007

THE RANDOM PARAMETERS INFLUENCE ANALYSIS ON THE VESSEL MANOEUVRABILITY AND SAFETY

V.N. Vinogradov, N.V. Ivanovsky, D.A. Novoselov

Key words: navigation safety, risk estimation, the marine vessel mathematical model, automatic control.

The article deals with random parameters influence on the vessel ,such as the attached water masses, the inertia moment, the vessel draught and others ; the influence on the motion trajectory, the vessel manoeuvrability and safety is meant. The article also presents a universal safety criterion that can be used in any vessel manoeuvring operation and particularly in the narrowness passage.

Статья поступила в редакцию 18.04.2018 г.

УДК 656.62.052.4

М.Ю. Чурин, доцент ВГУВТ

603591, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА БАРРАССА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЕЛИЧИН ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОСАДКИ СУДОВ РЕЧНОГО ФЛОТА

Ключевые слова: анализ, метод расчета, динамическая просадка, характер просадки, суда речного флота.

В данной статье рассмотрен вопрос использования метода доктора Баррасса, широко используемого для морских судов, для расчета величин динамической просадки судов речного флота при следовании в условиях мелководья. Выполнен анализ возможности применения метода для речных судов. На базе выполненного анализа работы метода предлагается использовать методы отечественных авторов, разработанных непосредственно для судов речного флота и учетом конкретных условий мелководья.

Эксплуатация судов смешанного «река-море» плавания характеризуется существенными отличиями как от эксплуатации чисто речных судов, так и от эксплуатации морских судов. Конструктивные особенности судов смешанного плавания позволяют успешно осуществлять работу как в речных условиях, так и в море. Работа на реках связана с эксплуатацией этих судов в стесненных условиях мелководья. Эта особенность работы судов дополнительно усугубляется постоянной тенденцией к увеличению габаритов вновь строящихся судов речного флота. Поэтому вопрос определения безопасного запаса воды под днищем для этих судов приобретает дополнительную актуальность. Одной из составляющих при расчете необходимого запаса воды под килем судна является величина динамической просадки.

В настоящее время для определения динамической просадки судов используются различные методы, разработанные отечественными и зарубежными авторами. В последнее время на морских судах достаточно широкое применение получил метод доктора Баррасса [1]. Этот метод расчета величин динамической просадки получил одобрение Балтийского Ллойда. Метод позволяет определить величины динамической просадки судов для двух видов мелководья. Для мелководных участков водных путей (открытые воды) Баррасс предлагает использовать выражение:

$$\Delta T = \delta v^2 / 100 \quad (1),$$

где: ΔT – величина динамической просадки судна (м);

δ – коэффициент полноты водоизмещения судна;

v – скорость судна относительно масс воды (узлы).

Коэффициент общей полноты вычисляется по формуле:

$$\delta = V / L * b * T \quad (2),$$

где: δ – коэффициент общей полноты;

V – водоизмещение судна на данную осадку судна T ;

L – длина судна (м);

b – ширина судна (м);

T – осадка судна (м).

Для стесненных вод (каналов) Барросс предлагает другую формулу для расчета величин динамической просадки:

$$\Delta T = \delta v^2 / 50 \quad (3).$$

В каналах и в узких фарватерах сечение потока воды значительно сужается корпусом судна. Соотношение сечения русла канала к проекции поперечного сечения подводной части корпуса судна называют коэффициентом загромождения русла канала (Bf).

$$Bf = b T / B H \quad (4)$$

где B – ширина русла канала (м),

H – глубина канала (м).



Рис. 1. Коэффициент загромождения русла канала

Если известны размеры русла реки, можно вычислить коэффициент загромождения, и его добавляют в формулу. В этом случае для речных условий получим:

$$\Delta T = K \delta v^2 / 100 \quad (5)$$

$$\text{где } K = (6 Bf) + 0,40 \quad (6)$$

Данные формулы справедливы для значений коэффициент общей полноты судна $\delta = 0,5-0,9$. По утверждению С.Б. Баррасса в зависимости от значения коэффициента общей полноты судно без дифферента будет подвержено проседанию в большей степени той или иной оконечностью:

$\delta = 0,7$ – судно проседает всем корпусом;

$\delta < 0,7$ – судно проседает на корму;

$\delta > 0,7$ – судно проседает носом.

У судна, имеющего дифферент на корму, проседание также будет на корму, при дифференте на нос, проседание также на нос. Эта же информация приводится в «Brown's Nautical Almanac» [2].

Выполнив анализ представленных формул для определения характера просадки судов речного флота, необходимо отметить, что предложенные подходы для этих судов не работают (см. табл. 1), не определяют характер просадки [3]. Сходимость результатов 13 %. Метод ВГАВТ [3] также дает возможность определить характер динамической просадки по коэффициенту $\bar{\sigma} = \sigma_n / \sigma_k$ как отношение коэффициента полноты носовой половины к коэффициенту полноты кормовой половины диаметрального батокса корпуса судна, характеризующее форму его обводов.

Отношение коэффициентов полноты носовой σ_n и кормовой σ_k половин диаметрального батокса судна носит постоянный характер (во всех случаях $\bar{\sigma} = \sigma_n / \sigma_k > 1,0$), что является характерной особенностью форм корпусов судов внутреннего и смешанного плавания с традиционной формой корпуса без бульба. Установлено, что величина отношения коэффициентов полноты носовой σ_n и кормовой σ_k половин диаметрального батокса судна определяет характер динамической просадки речных судов (просаживаются больше кормой). Сходимость результатов 100 %.

Кроме этого метод Баррасса может быть использован в очень малом диапазоне отношения осадки судна к глубине мелководного участка от 0,7 до 0,9. Баррасс этот диапазон определяет как отношение глубины к осадке судна $H / T = 1,1-1,4$.

Полученное методом Баррасса значение просадки судна на мелководье используется для расчетов минимально допустимого запаса глубин (Under keel clearance – УКС) при плавании на мелководных и стесненных участках пути судна. Вычисленные значения минимально допустимого запаса глубин необходимо сравнить со значениями, установленными компанией и если полученное значение менее допустимого, то необходимо выполнить расчет просадки для более низкой скорости судна и сравнить снова, пока полученный результат минимально допустимого запаса глубин не будет соответствовать установленному компанией. Другими словами, предложенный метод не позволяет определить значения скоростной просадки в зависимости от запаса воды под килем (глубины в районе следования судна), что является существенным недостатком предлагаемого метода.

Таблица 1

Геометрические характеристики судов

№	Тип судна	Номер проект	Длина L	Ширина B	Осадка T	Метод Баррасса Коэф-т δ	Соответствие	Метод ВГАВТ $\bar{\sigma} = \sigma_n / \sigma_k$	Соответствие
1	6-я пятилетка	576	90,0	13,0	2,8	0,83600	нет	1,03674	да
2	Невский	P-32БУ	108,57	14,8	3,0	0,84200	нет	1,05424	да
3	Окский	P-97	82,0	15,0	2,2	0,79760	нет	1,01678	да
4	Волго-Дон	507Б	135,0	16,5	3,2	0,85100	нет	1,08960	да
5	Волгонефть	550А	128,6	16,5	3,5	0,84500	нет	1,06570	да
6	Волго-Балт	095	110,0	13,0	3,3	0,82500	не	1,03207	да
7	т/х Якутск	1743	105,0	14,8	2,5	0,82700	нет	1,06470	да
8	Сормовский	1557	105,0	13,0	3,5	0,84200	нет	1,03484	да
9	Нефтерудовоз	1553	115,26	13,0	3,4	0,82340	нет	1,02836	да
10	Сормовский	6146ол	110,15	13,0	3,3	0,80767	нет	1,02430	да
11	Родина пас.	588	90,0	11,5	2,2	0,57560	да	1,02150	да
12	В. Куйбышев	92-016	126,45	15,8	2,9	0,71500	нет	1,04131	да
13	М. Горький с	Q-040	104,3	12,8	2,2	0,72440	нет	1,03411	да
14	Русь пас.	302	124,5	16,0	2,9	0,67500	да	1,07797	да

15	Волжский ук.	0574А М	103,8	16,5	3,49	0,830	нет	1,08262	да
----	--------------	------------	-------	------	------	-------	-----	---------	----

На основании вышеизложенного, для определения величин динамической просадки судов речного флота при следовании на мелководье предлагается брать за основу специально разработанные для речных судов методы отечественных авторов. Это в первую очередь метод В.Г. Павленко [4], метод П.Н. Шанчурова [5] и метод ВГАВТ [3], имеющих хорошую сходимость с результатами натурных наблюдений.

Таблица 2.

Зависимость просадки по корме теплохода «Сормовский» (проект 1557) от соотношения Т/Н и скорости хода.

Соотношение Т/Н	Величина просадки по корме, м					
	Средний ход			Малый ход		
	Метод Павленко	Метод Шанчурова	Метод ВГАВТ	Метод Павленко	Метод Шанчуров	Метод ВГАВТ
0,5	0,196	0,155	0,180	0,087	0,069	0,080
0,6	0,215	0,170	0,197	0,095	0,075	0,087
0,7	0,232	0,222	0,213	0,103	0,098	0,094
0,8	0,248	0,237	0,227	0,110	0,105	0,101
0,9	0,263	0,251	0,241	0,117	0,112	0,107

Таблица 3

Зависимость просадки по корме теплохода «Волго-Дон» (проект 507 Б) от соотношения Т/Н и скорости хода

Соотношение Т/Н	Величина просадки по корме, м					
	Средний ход			Малый ход		
	Метод Павленко	Метод Шанчурова	Метод ВГАВТ	Метод Павленко	Метод Шанчуров	Метод ВГАВТ
0,5	0,209	0,165	0,200	0,093	0,073	0,089
0,6	0,228	0,181	0,219	0,101	0,080	0,097
0,7	0,246	0,235	0,237	0,110	0,105	0,105
0,8	0,264	0,251	0,253	0,117	0,112	0,112
0,9	0,280	0,267	0,269	0,124	0,118	0,119

Предлагаемые методы расчета величин динамической просадки для судов речного флота имеют хорошую сходимость с результатами натурных наблюдений, выполненных по серийным речным судам [6,7].

Список литературы:

- [1] «Ship Design and Performance for Masters and Mates» С. В. Barrass [Электронный ресурс] – Режим доступа : [seatracker.ru >viewtopic.php? t=1735](http://seatracker.ru/viewtopic.php?t=1735)
- [2] Brown's Nautical Almanac / Brown, Son and Ferguson. Ltd. – Glasgow, G41 2SD, 2015.
- [3] Чурин М.Ю. Метод определения динамической просадки судов смешанного «река-море» плавания / М.Ю. Чурин //Современные проблемы науки и образования Выпуск 3, 2013. URL: www.science-education.ru/111-10228.
- [4] Управление судами и составами: учебник для вузов / Н.Ф. Соларев [и др.]–2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 296 с.
- [5] Шанчуров П.Н. Управление судами и составами: учебник для ин-тов водн. трансп. / П.Н. Шанчуров. М.: Транспорт, 1971.– 352 с.

- [6] Звонков В.В. Скоростные и тяговые характеристики грузовых теплоходов / В.В. Звонков // Речной транспорт – 1954. – №5. – с. 17–21.
- [7] Сухомел Г.И. Исследование движения судов по каналам и мелководью / Г.И. Сухомел. – Киев «Наукова думка», 1966. – 80 с.

THE BARRASS'S METHOD USE FOR THE RIVER FLEET VESSELS DYNAMIC DRAWDOWN CALCULATION

M.Y. Churin

Key words: *analysis, calculation method, dynamic drawdown, river fleet vessels.*

The article considers th Barras's method widely used for sea vessels for calculationg the river fleet vessels dynamic drawdown value while passing in the shallow areas. The method use possibility for the river vessels is analysed. Having analysed this method applicatin we offer to use the Russian authors' for the river fleet vessels particularly and taking into account some specific shallow water conditions.

Статья поступила в редакцию 08.05.2018 г.

УДК 656.615

А.А. Янченко, аспирант¹, старший преподаватель²
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского¹
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50 а
Владивостокский филиал Российской таможенной академии²
690034, г. Владивосток, ул. Стрелковая, 16в

НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОРСКИХ ПОРТОВ И ПОРТОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ

Ключевые слова: *моделирование, порт, транспортный процесс, контейнерный терминал, система управления, процессный подход*

В работе представлен обзор современных научных исследований в области совершенствования функционирования портов и портовых терминалов на основе теории массового обслуживания. Системный анализ трудов различных авторов позволил определить основные направления в области исследования технологических процессов работы порта. В результате был сделан вывод, что наиболее перспективным на сегодняшний день является процессный подход к построению систем массового обслуживания.

Создание оптимальной системы продвижения контейнеропотоков предполагает организацию единого транспортного пространства, т.е. объединение технологических процессов всех участников цепи доставки грузов, а именно, представителей морского транспорта и портовых систем грузораспределения, в единый сквозной процесс [1]. Для решения этой комплексной задачи (анализа существующей системы терминальной обработки грузов, проектирования и прогнозирования результатов различных вариантов развития системы и т.п.) различными исследователями разработаны инструменты моделирования вариантов функционирования морских портов и портовых

терминалов. В качестве основной методологической базы для прогнозирования направлений совершенствования работы портовых терминалов, оптимального взаимодействия морского транспорта и портовых систем грузораспределения применяются теории массового обслуживания (ТМО), в частности имитационное моделирование систем массового обслуживания, графов, а также статистическое моделирование.

Формирование и развитие теоретических основ, задач и методов ТМО, статистического анализа и моделирования сложных систем происходило с середины 60-х гг. XX века. Основоположителем ТМО (или теории очередей) считается датский ученый А.К. Эрланг (основные исследования относятся к 1908–1922 гг.), который выдвинул ряд математических задач нового типа по оптимизации обслуживания абонентов телефонной станции. Большой вклад в развитие методологии ТМО внесли такие исследователи, как: В.В. Адрианов, Н.П. Бусленко, Б.В. Гнеденко, Дж. Гиг, О.Н. Коваленко, Г.С. Колесников, И.В. Максимей, Г. Поттгофф, А.Г. Прохоров, Ю.И. Рыжиков, Р. Шеннон и другие.

В своих трудах В.В. Адрианов, Н.П. Бусленко, Дж. Гиг, Б.В. Гнеденко и О.Н. Коваленко, Г.С. Колесников и А.Г. Прохоров описали сущность сложных систем, представили схемы оптимизации и методологию моделирования. Н.П. Бусленко исследовал вопросы автоматизации систем имитационного моделирования, описывая нейросетевые алгоритмы оптимизации систем. Г. Поттгофф рассмотрел и описал различные примеры применения систем массового обслуживания, основанные и апробированные на реальных экспериментах. Р. Шеннон в своих трудах разработал основные принципы имитационного моделирования, которые применяются в практической деятельности при построении математических моделей систем массового обслуживания (СМО). И.В. Максимей подробно рассмотрел этапы имитационного моделирования и выполнил классификационное исследование существующих систем моделирования на ЭВМ. Ю.И. Рыжиков описал современное состояние вопроса и необходимости прикладных исследований ТМО, а также рассмотрел проблемы программирования имитационных моделей на универсальных языках, выявил основные особенности языков моделирования, подробно описал систему имитационного моделирования GPSSWorld.

В настоящее время имитационное моделирование является основным инструментом исследования сложных систем и позволяет рассматривать большее число альтернатив, улучшать качество принимаемых управленческих решений и наиболее точно прогнозировать их последствия.

Порты и портовые терминалы классифицируются как сложные системы с набором различных изменяющихся параметров, с разнообразными вариантами функционирования, отсутствием полноты информации об исследуемой системе, что в большинстве случаев усложняет работу при процессном моделировании. Применение методов теории массового обслуживания (в т.ч. имитационного моделирования) в области управления работой морских портов, контейнерных терминалов и транспортных сетей нашло свое отражение в работах многих отечественных и зарубежных ученых. Среди зарубежных авторов можно выделить работы Ж.-П. Родригэ [2], Т. Ноттебум [3,4], И. Ватанабэ, С. Блэкстоун, Чул Ким, Х.К. Далли, Е. Франкель, Дж. Берд, А. Бересфорд [5], Д. Воксениус, Г. Гуджар, К. Кабаллини, М. Матсии, К. Мачэрис, С. Питтит, В. Росо [6], Б. Слэк [7], П. Хестер [8] и другие. Среди отечественных исследователей, внесших свой вклад в развитие теории и практики работы портов, перегрузочных центров, железнодорожных станций, представлены труды А.П. Агеева, И.В. Алексеева, В.З. Ананьиной, В.Г. Бакаева, А.С. Балалаева, Л.Д. Ветренко, А.В. Галина, Р.В. Дерябина, В.И. Золотарева, А.В. Кириченко, А.Н. Китикова, Р.Г. Короля, А.Л. Кузнецова, П.В. Кузьмина, И.В. Кукушкина, О.Б. Маликова, Н.Н. Майорова, А.Р. Мельникова, А.Д. Москаленко, С.С. Павленко, В.А. Погодина, Ф.Д. Романовского, А.В. Степанца, А.Л. Степанова, В.А. Фетисова, А.С. Фролова, А.А. Фунтусова, В.Н. Щербаковой-Слюсаренко и многих других ученых.

Изучение и критический анализ научных трудов перечисленных авторов позволил определить основные направления в области исследования технологических процессов работы порта.

Первое направление исследования в области совершенствования портовой обработки прибывающего грузопотока связано с оптимизацией системы взаимодействия участников транспортного процесса, координацией деятельности всех составляющих международной транспортной цепи. Так, в трудах И.В. Алексеева и А.Д. Москаленко [9] рассмотрены вопросы совершенствования взаимодействия различных видов транспорта в транспортной сети Приморского края, разработаны инструменты моделирования вариантов оптимизации транспортной системы обработки импортного контейнеропотока в портах юга Приморья с дальнейшей транспортировкой автомобильным, железнодорожным и авиационным транспортом. Представленная в работе имитационная модель позволила спрогнозировать и оценить эффективность мероприятий по увеличению пропускной способности портовых систем с учетом параметров времени, стоимости и надежности.

В трудах А.В. Мельникова и А.В. Степанца [10] с использованием элементов теории графов и теории гарантированного оценивания построены модели (схемы) и алгоритмы альтернативных вариантов (грузоотправительского и операторского) организации транспортно-экспедиторского обеспечения перевозки контейнерных грузов через порты Дальнего Востока, позволяющие оптимизировать схемы экспедиторского обеспечения перевозок по показателю «качество услуг». Представленная в работе методика решения задачи оптимизации применяется на практике компаниями, осуществляющими свою деятельность в портах Владивосток, Находка, Восточный.

В работах А.С. Балалаева и Р.Г. Короля [11, 12] были изучены процессы взаимодействия морского порта и припортовой железнодорожной станции. В ходе исследования были предложены две модели: имитационная модель системы «железнодорожная станция – морской порт», дискретно-событийная имитационная модель работы припортовой железнодорожной станции и порта, которые позволили установить параметры работы системы в случае увеличения прибывающего вагонопотока и определить условия, при которых система не сможет эффективно функционировать.

Вторым научным направлением в области исследования технологических процессов работы порта является технологическое проектирование порта и контейнерных терминалов.

В научных трудах А.В. Галина [13, 14] на основе модели развития портов, предложенной Конвенцией ООН по торговле и развитию (UNCTAD), разработана и апробирована имитационная модель, отражающая изменения в развитии порта при количественном и качественном изменении грузопотока, позволяющая принимать решения о модернизации перегрузочных комплексов. В статьях [15, 16] рассмотрено применение системного подхода к описанию транспортного узла, представлен фрагмент транспортной модели контейнерного терминала, а также разработана имитационная модель процесса переработки каботажных грузов, основанная на интервальных оценках расчета вероятностных характеристик работы транспортно-технологического терминала. По мнению авторов этих статей, моделирование процесса переработки каботажных судов позволит повысить качество проектируемых перегрузочных контейнерных терминалов за счет более точного планирования обработки судов и управления этими процессами.

Наиболее полно и с разных направлений с использованием имитационного моделирования исследованы задачи эксплуатации морских терминалов группой ученых под руководством профессора А.Л. Кузнецова. В статье [17] на основе разработанной классификации функциональных моделей производственного контейнерного порта был сделан вывод о необходимости системного подхода к исследованию транспортных процессов, учете связей и зависимостей между грузопотоками и терминальными операциями при прогнозировании перспектив развития порта. В статье [18] изложены

общие подходы применения имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов, определены принципы построения процедур оценки модели на этапе исследования и проверки (установления адекватности модели). В работе [19] имитационное моделирование позволило определить начальные условия эффективности организации перевозок (с точки зрения затрат) в сети контейнерного грузораспределения.

В работах [20–22] изложен уже сам процесс технологического проектирования грузовых терминалов, в частности, исследована задача расчета морского фронта методами имитационного моделирования [20, 21], а также рассмотрен подход к расчету времени ожидания и занятости причала в новых граничных условиях: для произвольных судов, неоднородных причалов и произвольных характеристиках потока судов [22].

Сравнительный анализ результатов исследований различных авторов позволил выявить два основных подхода к использованию ТМО при математическом моделировании технологических процессов работы порта:

- 1) технологическое проектирование морских портов и терминалов;
- 2) проектирование систем управления контейнеропотоком в морских портах и терминалах.

Первый подход предполагает возможность экстенсивного развития уже существующих портов и портовых терминалов (например, увеличение числа причалов, парка перегрузочного оборудования и др.), а также с проектированием новых портовых терминалов, складов и т.п. Однако на практике в большинстве случаев этот путь реализовать невозможно или затруднительно в виду наличия ряда существенных ограничений (территориальных, финансовых, метеорологических и т.п.).

Альтернативный первому варианту подход направлен на совершенствование деятельности портов за счет получения высоких эксплуатационных показателей и связан с реализацией третьего направления исследований – проектирование систем управления и совершенствование технологических процессов обработки груза в порту (в т.ч. обоснование использования технологии «сухого» порта).

В статье [22, с. 8] в результате анализа работы порта Ванино с использованием имитационной модели, учитывающей дифференцированные метеоусловия, сделан основополагающий для третьего направления исследований вывод: «Помимо функции инструмента проектирования, имитационное моделирование может служить базой для совершенствования работы существующего терминала, являясь первым шагом на пути построения системы управления терминалом».

Реализация этого тезиса нашла свое отражение при моделировании транспортных операций в системе эксплуатации автомобильных терминалов [23] и системе, предполагающей использование промежуточного транспортного узла – «сухого порта» [24–29]. В работе [23] на основе разработанной дискретно-событийной модели работы терминала накатных грузов была произведена оценка вместимости FPR (буферной зоны терминала в непосредственной близости к причалу) и LPR (тыловой зоны терминала). Имитационное моделирование с использованием программной среды позволило провести сравнительный анализ вариантов операционного управления терминалом для проведения погрузочно-разгрузочных работ посредством динамического распределения бригад.

В работах [24–27] описана методика имитационного моделирования транспортных операций с использованием промежуточного транспортного узла (тылового терминала в виде «сухого» порта), позволяющая выявить особенности (различия) системы «сухого» порта, оценить затраты и эксплуатационные преимущества данной системы по сравнению с традиционной схемой терминальной обработки груза через морской порт. В статье предложены формализованные процедуры оценки требуемых операционных ресурсов транспортного узла.

В трудах [28, 29] на основе построенной модели транспортного узла на уровне «морской порт – припортовая станция – "сухой порт"» были решены вопросы обеспечения постоянного совместного управления в системе терминальной обработки грузов с целью формирования поездов и оптимизации подвода вагонов на припортовую станцию. Организация вывода рабочих мест обработки и оформления грузов за пределы морского порта и припортовой станции на удалённые терминалы позволила эффективно использовать ресурсы порта и обеспечивать переработку грузовых потоков максимального объема.

Вопросами эффективного функционирования портовых терминалов посредством оптимизации внутренних ресурсов порта в рамках третьего направления исследования также занималась группа ученых под руководством профессора А.В. Степанца. Так, в работе [30, с. 5] отмечается, что «... в условиях динамично изменяющихся грузопотоков особое значение приобретает обеспечение сбалансированности объемов работ и используемых ресурсов порта...». В результате проведенных этими учеными исследований было выявлено, что одной из основных причин простоев судна в порту является неравномерное использование рабочей силы при выполнении грузовых операций. Применение аппарата математического и статистического моделирования позволило разработать механизм формирования оперативных бригад докеров-механизаторов по заявкам пользователей и определить оптимальный вариант их закрепления за первичным подразделением морского порта.

В работах [31–34] представлен процессный подход к построению СМО. При этом в качестве объекта моделирования рассматриваются процессы обработки грузопотоков на контейнерном терминале для различных технологических целей. Так в статье [31] приведены способы универсального описания и задания типовых грузопотоков, предложены форматы описания функциональных операций в порту и требуемого транспортно-технологического оборудования для их выполнения. В публикациях [32–34] в виде СМО представлен процесс обработки импортных контейнерных потоков при внешнем граничном условии – обязательное предварительное информирование таможенных органов о судне и прибывающем на нем грузе, с целью дальнейшего анализа и оценки предельных возможностей контейнерного терминала в рамках свободного порта. При этом рассмотрены три технологических процесса: базовый (существующий) вариант обработки контейнерных потоков в порту [32], и предлагаемые варианты изменения технологических процессов (в условиях применения технологии предварительного информирования ТО [33] и зонирования территории контейнерного терминала [34]).

Процессный подход к математическому моделированию систем массового обслуживания представляет следующие возможности: быстро изменять транспортно-технологическую схему терминала, анализировать взаимодействие потоков в их конкуренции за технологические ресурсы (грузовые фронты, рабочую силу, складские ресурсы, подъемно-транспортное оборудование) и таким образом определять качество предоставляемых терминальных услуг. Описание требуемого уровня услуг осуществляется в терминах – длина очереди, длительность и разброс времени обслуживания. Для владельца терминала такой подход к моделированию позволяет оценивать требуемые затраты на поддержание заданного уровня оказываемых услуг. Таким образом, данная группа моделей создает систему управления не только на технологическом уровне, но и на предпринимательском.

Выполненный научный обзор позволил выделить следующие основные направления в области исследования технологических процессов работы порта:

- 1) оптимизация системы взаимодействия участников транспортного процесса, координация деятельности всех составляющих международной транспортной цепи доставки груза;
- 2) технологическое проектирование порта и контейнерных терминалов;

3) проектирование систем управления и совершенствование технологических процессов обработки груза в порту.

При этом третье направление исследований является на сегодняшнее время мало разработанным и наиболее перспективным в случае его применения для анализа и модернизации уже существующих терминальных комплексов.

Список литературы:

- [1] Маликова Т.Е. Системный анализ взаимодействия участников транспортного рынка при оформлении грузов в морском порту / Т.Е. Маликова, А.А. Янченко // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 4. – С. 25–29.
- [2] Rodrigue, J.-P. The Geography of Transport Systems: 3rd Edition (Paper-back) / J.-P. Rodrigue, C. Comtois, B. Slack. – Routledge. – 2013. – 416 с.
- [3] Notteboom T. Containerization, box logistics and global supply chains: the integration of ports and inner shipping networks / T. Notteboom, J.-P. Rodrigue. – Maritime Economics and Logistics. – 2008. – №10. – С. 152–174.
- [4] Notteboom T. Port regionalization: towards a new phase in port development / T. Notteboom, J.-P. Rodrigue. – Maritime Policy and Management. – 2005. – №32. – С. 297–313.
- [5] Beresford A.K. The UNCTAD and WORKPORT models of port development: evolution or revolution? / A.K. C. Beresford, B.M. Gardner, S.J. Pettit, A. Naniopoulos, C.F. Wooldridge // Maritime Policy & Management. – 2004. – Vol. 31. – № 2. – С. 93–107.
- [6] Roso, V. Evaluation of the dry port concept from an environmental perspective: A note / V. Roso // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2007. – Vol. 12. – № 7. – С. 523–527.
- [7] Slack B. Shipping Lines as Agents of Change in the Port Industry / B. Slack, C. Comtois, G. Sletmo. – Maritime Policy and Management. – 1996. – 313 с.
- [8] Hester P. Towards a Theory of Multi-method M&S Approach: Part I. / P. Hester, S. Diallo // Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference, edited by A. Tolk, S. Diallo, I. Ryzhov, L. Yilmaz, S. Buckley, and J. Miller. – 2014. – С. 1652–1663.
- [9] Алексеев И.В. Совершенствование организации взаимодействия различных видов транспорта в транспортных узлах : дис. канд. техн. наук / И.В. Алексеев. – Владивосток: Морской государственный университет им. Г.И. Невельского. – 2008. – 137 с.
- [10] Мельников А.Р. Совершенствование методического обеспечения транспортно-экспедиторского обслуживания смешанных перевозок груза: дис. канд. техн. наук / А.Р. Мельников. – Владивосток: Морской государственный университет им. Г.И. Невельского. – 2003. – 172 с.
- [11] Король Р.Г. Имитационное моделирование системы «железнодорожная станция – морской порт» на примере Владивостокского транспортного узла / Р.Г. Король, А.С. Балалаев // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – № 3 (31). – С. 209–216.
- [12] Король Р.Г. Имитационное моделирование работы припортовой железнодорожной станции с вероятностно-статистическим подходом к изменению параметров поступающего вагонопотока / Р.Г. Король, А.С. Балалаев // Транспорт Урала. – 2014. – № 3 (42). – С. 53–57.
- [13] Галин А.В. Обобщенная имитационная модель процесса развития портов / А.В. Галин // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – № 6 (34). – С. 43–51.
- [14] Галин А.В. Воздействие ограничений на обобщенную имитационную модель процесса развития портов / А.В. Галин // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 1 (35). – С. 7–14.
- [15] Майоров Н.Н. Исследование состояния контейнерного терминала на основе транспортной модели и имитационного моделирования / Н.Н. Майоров, А.В. Кириченко, В.А. Фетисов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2016. – № 3 (37). – С. 7–15.
- [16] Кукушкин И.В. Алгоритмическое и программное обеспечение имитационного моделирования процессов переработки каботажных грузов / И.В. Кукушкин, А.П. Нырков, А.А. Нырков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 2 (36). – С. 190–200. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-2-190-200.
- [17] Кузнецов А.Л. Классификация и функциональное моделирование эшелонированных контейнерных терминалов / А.Л. Кузнецов, А.В. Кириченко, А.А. Давыденко // Вестник Государственного

- университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – № 6 (34). – С. 7–14.
- [18] Кузнецов А.Л. Роль имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов / А.Л. Кузнецов, А.В. Кириченко, В.А. Погодин, В.Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2017. – № 2. – С. 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-8-2-93-102.
- [19] Кузнецов А.Л. Моделирование сетей контейнерного грузораспределения / А.Л. Кузнецов, С.С. Павленко, В.Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – № 5 (33). – С. 33–42.
- [20] Китиков А.Н. Расчет морского фронта методами имитационного моделирования / А.Н. Китиков, А.Л. Кузнецов, И.А. Русинов // Эксплуатация морского транспорта. – 2013. – № 2 (72). – С. 3–6.
- [21] Китиков А.Н. Ограничения при расчете морского фронта методами теории массового обслуживания / А.Н. Китиков, А.Л. Кузнецов, И.А. Русинов // Эксплуатация морского транспорта. – 2013. – № 1 (71). – С. 3–6.
- [22] Кузнецов А.Л. Имитационное моделирование работы порта с учетом дифференцированных метеоусловий / А.Л. Кузнецов, В.А. Погодин, Я.Б. Спасский // Эксплуатация морского транспорта. – 2011. – 1 (63). – С. 3–8.
- [23] Кузнецов А.Л. Дискретно-событийное моделирование в задачах проектирования и эксплуатации автомобильных терминалов / А.Л. Кузнецов, С.В. Бобрышев, Я.Б. Спасский // Эксплуатация морского транспорта. – 2012. – № 2 (64). – С. 8–13.
- [24] Кузнецов А.Л. Обоснование концепции «сухого» порта / А. Л. Кузнецов, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Транспортное дело России. – 2013. – № 4. – С. 77–80.
- [25] Щербакова-Слюсаренко В.Н. Разработка функциональной модели контейнерного терминала типа «сухой порт» и принципов ее использования в технологическом проектировании / В.Н. Щербакова-Слюсаренко, В.А. Погодин, А.С. Ткаченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т.9. – № 1. – С. 48–60. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-48-60.
- [26] Павленко С.С. Моделирование технологического взаимодействия морских и тыловых контейнерных терминалов / С.С. Павленко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2015. – № 6 (34). – С. 59–72.
- [27] Павленко С.С. Организация системы управления грузораспределением морских контейнерных терминалов на основе имитационного моделирования : дис. канд. техн. наук / С.С. Павленко. – Санкт-Петербург : Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2016. – 158 с.
- [28] Король Р.Г. Технологические аспекты функционирования «сухих портов» / Р.Г. Король, А.С. Балалаев // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2014. – № 3 (34). – С. 123–126.
- [29] Король Р.Г. Взаимодействие различных видов транспорта в транспортном узле при наличии терминала «сухой порт» (на примере Владивостокского транспортного узла) : дис. канд. техн. наук / Р.Г. Король. – Хабаровск : Дальневосточный государственный университет путей сообщения. – 2015. – 147 с.
- [30] Степанец А.В. Управление использованием ресурса докеров-механизаторов морского порта : монография / А.В. Степанец, В.Е. Верютина, И.А. Степанец, А.А. Фунтусов. – Владивосток, 2011. – 233 с.
- [31] Кузнецов А.Л. Имитационное моделирование как инструмент расчета наземных контейнерных терминалов / А.Л. Кузнецов, А.В. Кириченко, А.С. Ткаченко, Г.Б. Попов // Вестник АГТУ. – 2018. – № 1. – С. 100–108. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-1-100-108.
- [32] Янченко А.А. Дискретно-событийная модель в задачах эксплуатации контейнерных терминалов / А.А. Янченко, Т.Е. Маликова // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 4 (85). – С. 25–31.
- [33] Маликова Т.Е. Модель массового обслуживания импортного грузопотока с применением технологии предварительного информирования / Т.Е. Маликова, А.А. Янченко, И.Н. Вольнов // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т.9 – № 2. – С. 280–287. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-280-287.
- [34] Янченко А.А. Разработка модели исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы / А.А. Янченко, Т.Е. Маликова, И.Н. Вольнов // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – № 4. – С. 704–713. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-704-713.

SCIENTIFIC APPROACHES TO THE SEA PORTS AND PORT TERMINALS OPERATING PROCESSES STUDY

A.A. Yanchenko

Key words: modelling, port, transport process, container terminal, management system, process-based approach

The article focuses on the current scientific studies overview devoted to the ports and port terminals improvement on the basis of queueing theory. The various authors' works systematic analysis allows identifying the main trends concerning the port operation technological processes study. As a result, it was concluded that the process-based approach to building queue serving systems is the most promising for today.

Статья поступила в редакцию 20.03.2018 г.

Раздел V

**Эксплуатация судового
энергетического оборудования**

Section V

Operation of ship power equipment

УДК 629.12.001.2:656.66.

В.И. Самулеев, к.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Т.Н. Гусакова, ст. преподаватель ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЗЕМСНАРЯДОВ

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод лебедки, режим стоянки под током, соотношение частоты f_1 и напряжения U_1 на статоре двигателя, работа АД при колебаниях питающего напряжения.

В статье рассматриваются вопросы работы электрического привода оперативной лебедки «на упор» т.е. в режиме стоянки под током. Исследование данного режима позволяет получить выражения для минимальных потерь при определенных соотношениях напряжения U_1 и частоты f_1 . В работе также рассмотрен режим частотно-управляемого электрического привода оперативной лебедки при изменениях напряжения питающей судовой сети, что бывает довольно часто при пусках мощных потребителей и приведена зависимость $\alpha = f(M)$.

Передвижения землесосных и землечерпательных снарядов при углублении дна осуществляются оперативными и станowymi лебедками. Для поддержания высокой производительности земснаряда электропривод лебедки должен осуществлять постоянное регулирование скорости выбирания троса при сохранении в нем необходимого тягового усилия. Эти требования наиболее полно обеспечиваются асинхронными электроприводами с частотным регулированием.

Одним из характерных режимов частотно-регулируемого электропривода лебедки является работа «на упор». Этот режим возникает особенно часто при снятии толстых слоев или разработке плотного грунта. Асинхронный короткозамкнутый двигатель (АД) работает при этом на малой частоте ($f_1=5\div 10$ Гц) и часто переходит в режим стоянки под током. Для таких условий электродвигатель должен выбираться с учетом ухудшений условий охлаждения при работе на малых скоростях вращения, его номинальный момент должен быть снижен.

Целесообразно найти такое соотношение частоты f_1 и напряжения U_1 на статоре двигателя в режиме стоянки под током при известном моменте на валу двигателя, когда потери, а следовательно, и его нагрев будут минимальными [1, 2].

Потери в АД складываются из электрических ρ_3 и магнитных ρ_m [3]. Электрические потери определяются выражением:

$$\rho_3 = m_1(r_1 I_1^2 + r_2' I_2'^2) \quad (1)$$

Из Т-образной схемы замещения АД (рис. 1) в режиме стоянки под током можно записать токи в статоре I_1 и роторе I_2' .

$$I_1 = U_{1ном} \gamma \sqrt{\frac{(1 + \tau_2)^2 + (\frac{\tau_1}{x_1})^2 (\frac{r_2'}{\alpha})^2}{\frac{r_2'}{\alpha} \left[(b^2 + c^2 \alpha^2) \frac{\alpha}{r_2} + (d^2 + e^2 \alpha^2) \frac{r_2'}{\alpha} + 2r_1 \alpha \right]}} \quad (2)$$

$$I_2' = U_{1ном} \gamma \sqrt{\frac{1}{idem}} \quad (3)$$

Здесь и далее

m_1 – число фаз;

$U_{1ном}$ – номинальное напряжение питания;

$\omega_{1ном}$ – номинальная угловая скорость вращения статора;

$\gamma = \frac{U_1}{U_{1ном}}$ – относительное напряжение, подаваемое на статор;

$\alpha = \frac{f_1}{f_{1ном}}$; $\beta = \frac{f_2}{f_{1ном}}$ – относительная частота статора и ротора

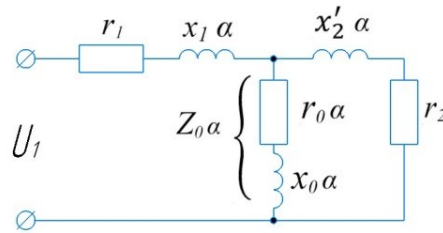


Рис. 1. Схема замещения АД в режиме стоянки под током.

r_1 ; r_2 ; x_1 ; x_2' ; τ_1 ; τ_2 – общепринятые значения АД;

$$b = r_1(1 + \tau_2); c = x_1 + x_2'(1 + \tau_1);$$

$$d = \frac{\tau_2}{x_1\tau_1}; e = (1 + \tau_1)$$

С целью определения величины $U_{1ном}$ воспользуемся выражением для момента АД [4], которое запишем с учетом равенства $\alpha = \beta$, имеющего место в режиме стоянки под током:

$$M_{ст} = \frac{m_1 U_{1ном}^2}{\omega_{1ном}} \gamma^2 \frac{1}{(b^2 + c^2 \alpha^2) \frac{\alpha}{r_2} + (d^2 + c^2 \alpha^2) \frac{r_2'}{\alpha} + 2r_1 \alpha}. \quad (4)$$

С учетом (2), (3) и (4)

$$\rho_3 = M_{ст} \omega_{1ном} \left[\frac{r_1 \alpha}{r_2} (1 + \tau_2)^2 + \frac{r_1 r_2'}{\alpha} \left(\frac{\tau_1}{x_1} \right)^2 + \alpha \right] \quad (5)$$

Магнитные потери АД складываются из потерь на гистерезисе и от вихревых токов. Потери на гистерезисе обычно считают пропорциональными первой степени частоты перемагничивания и квадрату магнитного потока, а потери от вихревых токов – квадрату частоты и квадрату магнитного потока. В расчетах [5] магнитные потери принимают пропорциональными квадрату магнитного потока и частоты в степени 1,2÷1,5. Если принять одну из рассматриваемых зависимостей для дальнейших выводов, то это приведет в первом случае к решению уравнения в четвертой степени, во втором – к решению иррационального уравнения относительно α .

Если учесть, что стоянка двигателя под током осуществляется на пониженных частотах и величина магнитных потерь существенно снижается по сравнению с электрическими, можно упростить решение поставленной задачи. С этой целью принимаем магнитные потери пропорциональными квадрату магнитного потока и считаем их независимыми от частоты. При выборе постоянного коэффициента $K_{ст}$, входящего в выражение магнитных потерь, следует принимать наиболее вероятную для режима стоянки под током частоту α .

Таким образом, при условии $\alpha = \beta$, магнитные потери можно записать

$$\rho_m = K_{cm} \Phi^2 = \frac{K_{cm} \gamma^2 U_{1ном}^2}{c_1^2 f_{1ном}^2 \left(\frac{r_2'}{\alpha}\right)^2} * \frac{x_2' + \left(\frac{r_2'}{\alpha}\right)^2}{(b^2 + c^2 \alpha^2) \frac{\alpha}{r_2'} + (b^2 + e^2 \alpha^2) \frac{r_2'}{\alpha} + 2r_1 \alpha} \quad (6)$$

С учетом (4) получаем:

$$\rho_m = \frac{2\pi K_{cm} M_{cm}}{c_1^2 m_1 \rho f_{1ном}} \left(\frac{x_2' \alpha}{r_2'} + \frac{r_2'}{\alpha} \right) \quad (7)$$

где ρ – число пар полюсов АД.

Приравнявая нулю производную $\frac{d(p_\beta + p_m)}{d\alpha}$, определим значение частоты $\alpha_1 = \beta_1$, при которой потери в двигателе будут минимальными

$$\alpha_1 = \frac{r_2'}{x_1} \sqrt{\frac{K_{cm} x_1^2 + c_1^2 m_1 f_{1ном}^2 r_1^2 \tau_1^2}{c_1^2 m_1 f_{1ном}^2 [r_1 (1 + \tau_2)^2 + r_2'] + K_{cm} x_1^2}} \quad (8)$$

При этом напряжение питания АД должно определяться в зависимости от α_1 и заданного M_{cm} выражением, полученным из (4),

$$\gamma^2 = \frac{M_{cm} \omega_{1ном}}{m_1 U_{1ном}^2} \left[(b^2 + c^2 \alpha^2) \frac{\alpha}{r_2'} + (d^2 + e^2 \alpha^2) \frac{r_2'}{\alpha} + 2r_1 \alpha \right] \quad (9)$$

Характер изменения напряжения U_1 от величины M_{cm} при $\alpha = \alpha_1$ можно видеть на рис. 2.

На рис. 3 показаны экспериментальные зависимости перегрева $\Delta\theta$ АД марки АОЛ 41-4 относительно температуры окружающей среды для различных значений момента стоянки M_{cm} . Минимум перегрева двигателя относится к частоте α_1 , практически совпадающей с расчетной.

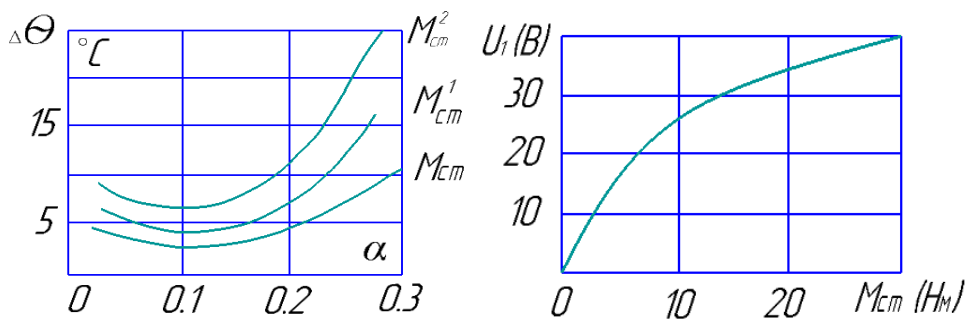


Рис. 2. Зависимость напряжения U_1 от момента M_{cm} АД. рис. 3. Экспериментальные зависимости перегрева двигателя $\Delta\theta$ от частоты ($M_{cm} < M_{cm}' < M_{cm}''$).

Механические характеристики АД, показанные на (рис. 4) будут выходить из одной точки оси ординат и иметь разный наклон, пересекая ось моментов в точках, соответствующих определенной величине M_{cm} . При работе на частоте, превышающей расчетную α_1 , и возникновении перегрузки двигатель переходит в режим стоянки под током. Для формирования крутопадающего участка механических характеристик в

систему управления электроприводом вводится обратная связь по току, воздействующая на каналы регулирования частоты и напряжения [6].

Работа АД при колебаниях питающего напряжения, возникающих при пусках и отключениях мощных потребителей, является второй характерной особенностью рассматриваемого привода в условиях автономной энергетической установки земснаряда.

Чтобы избежать в таких условиях возможных опрокидываний АД или набросов момента на него, следует автоматически и по определенному закону регулировать частоту α в зависимости от напряжения U_1 .

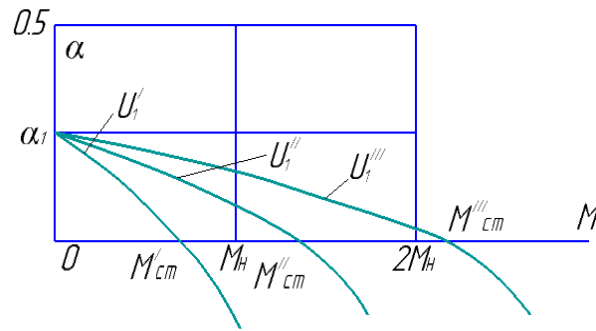


Рис. 4. Механические характеристики АД для различных U_1 ($U_1 < U_1' < U_1''$) при переходе в режим стоянки под током.

Проанализируем работу АД при колебаниях напряжения сети, воспользовавшись уравнением движения электропривода, записанным с учетом частотного регулирования:

$$M = M_c + J_g \omega_{1ном} \left(\frac{da}{dt} - \frac{d\beta}{dt} \right), \quad (10)$$

где J_g — момент инерции привода. Так как процесс изменения напряжения сети непродолжительный, то можно принять, что момент сопротивления M_c при этом не изменяется [7].

Если система автоматического регулирования электропривода настроена таким образом, что одновременно с изменением напряжения U_1 изменяется частота α согласно реализованного в ПЧ закона частотного регулирования (в рассматриваемом случае принят закон частотного регулирования с IR-компенсацией), то в электроприводе могут возникать броски тока и резкие колебания момента. Это видно из анализа уравнения (10). Так, например, при внезапном увеличении U_1 и f_1 вторая составляющая момента будет складываться с моментом сопротивления, резко увеличивая момент двигателя M .

Зависимости $\alpha(t)$, при которых момент АД за время переходного процесса после внезапного изменения напряжения (рис. 5) оставался бы величиной постоянной и равной M_a (при уменьшении напряжения) или M_b (при увеличении напряжения), получим из решения уравнения (10) с учетом

$$\frac{d\beta}{dt} = 0.$$

При уменьшении напряжения

$$\alpha = \alpha_a + \frac{M_a - M_c}{J\omega_{1ном}} * t \quad (11)$$

при увеличении напряжения

$$\alpha = \alpha_a + \frac{M_b - M_c}{J \omega_{1ном}} * t, \quad (12)$$

т. е. должен быть реализован линейный закон изменения частоты $\alpha(t)$. При этом интенсивность изменения α определяется величиной ΔU , т. е. положением механической характеристики 1 или 2. Процесс изменения частоты по зависимостям (11) или (12) должен продолжаться до тех пор, пока не наступит равенство:

$$M_d = K_\beta * \beta_d \text{ или } M_b = K_\beta * \beta_b, \text{ где}$$

$$K_\beta = \frac{2M_k}{\beta_d}$$

M_k и β_k – критические момент и абсолютное скольжение АД;

β_d и β_b – абсолютное скольжение соответственно в точках d и b после окончания переходного процесса.

После установления частоты механическая характеристика АД, за счет обратной связи по э.д.с. определится принятым законом частотного регулирования. Рабочая точка АД, начиная с этого момента, будет перемещаться по механической характеристике до соблюдения условия $M = M_c$ например, по характеристике 3 от точки e до точки m .

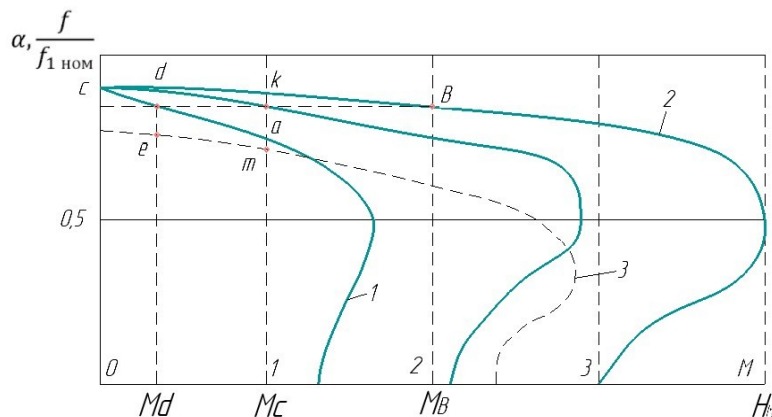


Рис. 5. Механические характеристики АД для различных напряжений U_1

Моменты M_d и M_b можно определить по формуле (4), в которой вместо

$$U_{1ном} \gamma, \frac{a}{r'_2} \text{ и } \frac{r'_2}{a}$$

следует, соответственно взять

$$U_a \pm \Delta U; \frac{\beta_d}{r'_2} \left(\text{или } \frac{\beta_b}{r'_2} \right) \text{ и } \frac{r'_2}{\beta_d} \left(\text{или } \frac{r'_2}{\beta_b} \right).$$

Если напряжение сети изменяется плавно, например, по линейному закону от времени

$$U_1 = U_a \pm K_\gamma t, \quad (13)$$

где K_γ постоянный коэффициент, тогда при $a = \text{const}$ момент АД также будет изменяться плавно. Рабочая точка АД в координатной плоскости $n - M$ будет описывать

траекторию, соединяющую точки **a** и **m** слева (уменьшение напряжения) или точки **a** и **K** справа (увеличение напряжения). При одновременном изменении напряжения и частоты так, чтобы $M = M_c = \text{const}$ будет иметь место равенство

$$\frac{da}{dt} = \frac{d\beta}{dt},$$

из которого вытекает:

$$\alpha = \beta + (\alpha_a - \beta_a).$$

Зависимость $\alpha(t)$ для условия $M = M_c = \text{const}$ можно получить также, приняв при сравнительно небольших изменениях напряжения соотношение:

$$\beta = \frac{\beta_a * U_{1a}^2}{(U_{1a} \pm K_\gamma t)^2}.$$

Решив уравнение

$$M = M_c + J_{\omega_{ном}} \left[\frac{d\alpha}{dt} \pm \frac{2\beta_a U_{1a}^2 K_\gamma}{(U_{1a} \pm K_\gamma t)^3} \right] \quad (14)$$

с учетом начальных условий $t = 0$ и $\alpha = \alpha_a$, получим

$$\alpha = \alpha_a + \frac{M - M_c}{J_{\omega_{ном}}} t \pm 6\beta_a U_{1a}^2 K_\gamma^2 \left[\frac{1}{(U_{1a} \pm K_\gamma t)^4} \pm \frac{1}{U_{1a}^4} \right]. \quad (15)$$

После того, как прекратится изменение напряжения, частота α будет продолжать изменяться согласно уравнению (11), но вместо α_a должна быть взята частота, полученная из (15) для момента времени

$$t = \frac{\Delta U}{K_\gamma}.$$

Из (15) можно получить зависимость $\alpha(U_1)$, если вместо K_γ подставить его выражение из (13) [8].

На рис. 6. изображены зависимости $\alpha(t)$, $U_1(t)$ и $\alpha(U_1)$, которые легко реализовать, заменив их без существенных погрешностей линейными.

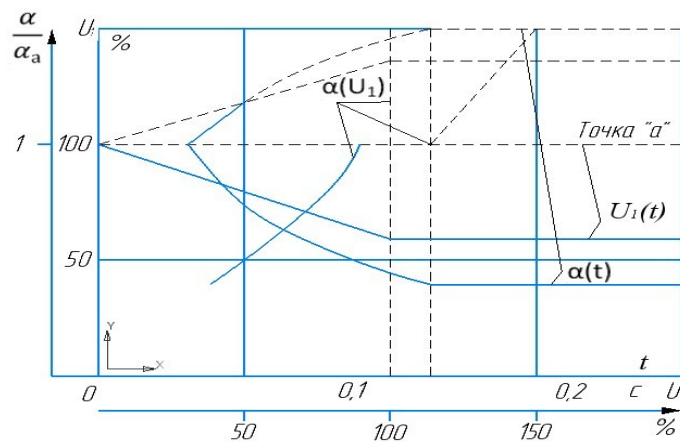


Рис. 6. Зависимость $\alpha(t)$, $U_1(t)$ и $\alpha(U_1)$ для процессов снижения (сплошные линии) и повышения (пунктирные линии) напряжения U_1

Выводы

1. В режиме стоянки под током с целью уменьшения потерь в АД и, соответственно, его нагрева следует регулировать напряжение питания АД в зависимости от частоты согласно (9) с учетом необходимого тягового усилия троса.

2. При колебаниях напряжения сети целесообразно регулировать и частоту тока, что позволяет исключить резкие колебания величины момента двигателя, отрицательно влияющие на судовую сеть и другие потребители электрической энергии.

3. Рассмотренные особенности использования электроприводов с частотным управлением на земснарядах необходимо учитывать и для других электроприводов, работающих в режиме стоянки под током при возможных перегрузках и колебаниях напряжения сети.

Список литературы:

- [1] Справочник по автоматизированному электроприводу / под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
- [2] Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе / А.Я. Бернштейн, Ю.М. Гусяцкий, А.В. Кудрявцев, Р.С. Сарбатов; под ред. Р.С. Сарбатова. – М.: Энергия, 1980.
- [3] Самулеев В.И. Электрооборудование судов: курс лекций для студ. и курс. оч. изаоч.обуч. спец-ти «Эксплуатация судовых энергетических установок» – Н.Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016. – 232 с.
- [4] Бабаев А.М. Ягодкин В. Я. Автоматизированные судовые электроприводы– М.: Транспорт, 1986. – 448 с.
- [5] Качин С.И., Чернышев А.Ю., Качин О.С. Автоматизированный электропривод: учебно-методическое пособие- Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2010. – 162 с.
- [6] Walters G.A., Kahn, A., Optimal Design of Micro-Hydro Systems // Water Resource Systems Application, June 1990.
- [7] Reitiere N., Gerbaud, L., Chrzan P.J., Roye, D., Mannevy, P. Modeling and simulation of induction motor drive under inverter fault operations // EPE-97, Trondheim, 1997.
- [8] Weiss H., Lampersberg M. Control system for the voltage source DC link converter in the rotor circuit of a slip ring induction machine // EPE-97, Trondheim, 1997.

PECULIARITIES OF APPLICATION OF THE ASYNCHRONOUS FREQUENCY-REGULATED ELECTRIC DRIVE AT ZEMSNARYADS

V.I. Samuleev, T.N. Gusakova

Key words: frequency-controlled winch electric drive, parking mode under current, frequency ratio f_1 and voltage U_1 on the engine stator, the AD operation with fluctuating supply voltage.

The article deals with the operational winch electric drive functioning «to the stop», that is, in the parking mode under the current. This model study allows us to obtain expressions for the minimum losses for certain voltage ratios U_1 and frequency f_1 . We also consider the operational winch electric drive frequency-controlled regime with changes in the voltage concerning the supply ship's network, which happens quite often when starting powerful consumers and the relation $\alpha = f(M)$ is shown.

Статья поступила в редакцию 24.04.2018 г.

ВЕСТНИК
Волжской государственной академии
водного транспорта

Выпуск 55
2018

Формат бумаги 70х180 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 12,63. Уч.-изд. л. 17,68.
Заказ 107. Тираж 500.

Отпечатано в типографии издательско-полиграфического комплекса ВГУВТ
603951, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5