

3. Astrein V V, Kondratiev S I, Boran-Keshishyan A L 2019 Presentation precedent in ship DSS of safe navigation *Marine intellectual technologies* 4(46)-3 147-152
4. Ivanchenko A A, Turkin V A, Karakayev A B, Konev G A 2019 State and perspective directions of development of CAD in shipbuilding *Marine intellectual technologies* 1(43)-2 41-45
5. Samoilenko A Yu, Turkin V A, Bushlanov V P 2019 The formation of the experimental database for the study of cycles marine diesel engines *Marine intellectual technologies* 1(43)-2 59-62
6. IMO 2017 Maritime Cyber Risk Management in Safety Management Systems. MSC.428(98) (London: IMO)
7. IMO 2017 Guidelines On Maritime Cyber Risk Management. MSC-FAL.1/Circ.3. (London: IMO)
8. RS 2021 Guidelines on Cyber Safety (ND No. 2-030101-040-E) (St. Petersburg: Russian Maritime Register of Shipping) 46
9. IMO 1993 The International Management Code for the Safe Operation of Ships and for Pollution Prevention (International Safety Management (ISM) Code), Resolution A.741(18) (London: IMO)
10. Reshnyak V I, Zakharov V N, Mizgiriyov D S, Slyusarev A S 2019 The ecological risk assessment during accidental oil spills at water transport objects *Marine intellectual technologies* 4(46)-2 85-90
11. Reshnyak V I 2019 The theoretical basis assessment of risk emergency of oil spills *Marine intellectual technologies* 4(46)-3 72-76
12. Marcelo Ramos Martins and Adriana Miralles Schleder 2012 Reliability Analysis of the Regasification System on Board of a FSRU Using Bayesian Networks, Natural Gas - Extraction to End Use, Sreenath Borra Gupta, IntechOpen, DOI: 10.5772/45803
13. Pipeline and Hazardous Material Administration. <https://www.phmsa.dot.gov/> (date of the application 16.03.2021)
14. Hidalgo E M P, Silva D W R and de Souza G F M 2013 Probabilistic corrosion failure analysis of a LNG carrier loading pipeline *22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013) November 3-7, 2013 (Ribeirão Preto, SP, Brazil)* 3113-3123
15. Vianello C, Maschio G 2014 Risk analysis of lng terminal: case study *Chemical Engineering Transactions* 36 277-282 DOI: 10.3303/CET1436047
16. Desarnaud G 2017 Cyber Attacks and Energy Infrastructures: Anticipating Risks *Etudes de l'Ifri (Paris: Ifri)* 60
17. Protecting the connected barrels. Cybersecurity for upstream oil and gas. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/tr/Documents/energy-resources/DUP_Protecting-the-connected-barrels.pdf (date of the application 16.03.2021)
18. Epikhin A.I. and Bashurov B P 2019 Experience and trends in the application of ship vehicles for LNG in vessels of the port fleet in the Russian Federation and the world *Marine intellectual technologies* 4(46)-3 52-58
19. Epikhin A.I., Kondratiev S.I., Hekert E.V. Application of neural networks based on a multilayer perceptron using fuzzy logic for technical diagnostics of ship technical means//Operation of sea transport. 2020. No. 3 (96). pp. 111-119.
20. Epikhin A.I., Kondratiev S.I., Hekert E.V. Prediction of multidimensional nonstationary time series using neuromodeling// *Marine intelligent technologies*. 2020. No. 4-4 (50). pp. 23-27.
21. Kondratiev S.I. Synthesis of program trajectories by the method of dynamic programming [Text] / S.I. Kondratiev // News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Series: Technical Sciences. 2003.No. S6. pp. 41-43.

УДК 629.584

DOI: 10.34046/aumsuomt101/28

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ «СУДНО-ЗАБОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ» В ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНОЙ ПЛОСКОСТИ

И.М. Данцевич, кандидат технических наук, доцент

А.В. Черкасов, кандидат технических наук, доцент

М.Н. Лютикова, кандидат технических наук, доцент

Проведен анализ натурального эксперимента геофизического комплекса (буксируемое судно - буксируемый аппарат), с целью отработки технологии движения комплекса вдоль линии заданного профиля. Применение буксируемых геофизических систем с требуемыми параметрами качества диктуется требованиями получения качественных сонограмм исследования шельфа и безопасности проведения исследований.

В статье исследованы различные режимы динамики при буксировке со скоростями от 1,5 узла до 6 узлов

Ключевые слова: буксируемый аппарат (БА), кабель-трос (КТ), подводный аппарат (ПА), спуско-подъёмное устройство (СПУ), геофизическое судно, буксируемый геофизический комплекс, морская техника, задача стабилизации движения судна, диаметральной плоскость (ДП).

ANALYSIS OF EXPERIMENTS CONCERNING THE "SHIP-OUTBOARD EQUIPMENT" SYSTEM IN THE LONGITUDINAL-TRANSVERSE PLANE CONTROL

I.M. Dantsevich, A. V. Cherkasov, M.N. Lyutikova

The analysis of a full-scale experiment of a geophysical complex (towed vessel - towed vehicle) was carried out to work out the movement of the complex technology in line with a given profile. The use of towed geophysical systems with the required quality parameters is dictated by the requirements for obtaining high-quality sonograms of both shelf exploration and the safety of research.

The article investigates various dynamic modes during towing operations at speeds of from 1.5 to 6 knots.

Keywords: towed vehicle (BA), cable-cable (CT), underwater vehicle (UV), descent-lifting device (SPU), geophysical vessel, towed geophysical complex, marine equipment, ship traffic stabilization task, midplane.

Введение. Поверхность Земли на 71% покрыта морями и океанами. Освоение пространств и ресурсов Мирового океана - одно из главных направлений развития мировой цивилизации в третьем тысячелетии.

Развитие морской техники разведки и добычи нефти является отражением уровня технологий и интеллектуальных возможностей страны.

К числу задач, поставленных Морской доктриной Российской Федерации на период до 2020 г., относятся как интенсивная разведка нефти и природного газа на Арктическом континентальном шельфе, так и строительство новых геофизических научно-исследовательских судов (НИС) – основного инструмента для проведения разведки запасов углеводородов на континентальном шельфе России [1-2].

Как свидетельствует опыт применения научно-исследовательских судов, сроки их эксплуатации обычно составляют 20-30 лет. За этот временной отрезок научное и специальное оборудование, применяемое для исследования геологии морей, может сменить несколько поколений [2].

Это в полной мере относится к забортному оборудованию типа телеуправляемые подводные аппараты. С самого первого применения в 1953 году, до настоящего времени сменялось четыре поколения ТНПК [3]. Первые ПА этого типа использовались лишь как средства наблюдения за действиями водолазов, исследования затонувших объектов и т.д. Дальнейшее развитие позволило оснастить ТНПК манипуляторами различного назначения, средствами подводной навигации и обработки информации [4].

Задачи, решаемые геофизическими судами широки, и при наиболее характерных технологических операциях, наиболее часто их привлекают к спасательным операциям, подъёму затонувших

объектов, поиску различных предметов и др. [5]. Весь перечень задач решаемых этими судами требует специальных технологий судовождения с применением адаптированных интерфейсов управления. Часто это сопровождается специальными режимами движения судов, которые в большинстве своём соответствуют режимам малого хода.

Важнейшим практическим аспектом является оснащение специальных геологических (геофизических) судов многоцелевыми буксируемыми комплексами, способными решать следующие поисково-исследовательские задачи:

- организация работ в полосе движения судна носителя для исследования шельфа;
- нивелирование донной поверхности;
- фототелевизионное фиксировании местных предметов;
- взятия проб грунта и воды;
- определение радиоактивности воды и грунта, требует системного подхода к исследованию техник и технологий применения геологоразведочного судна и забортного оборудования [7].

Проведен анализ натурального эксперимента геофизического комплекса (буксируемое судно - буксируемый аппарат), с целью отработки технологии движения комплекса вдоль линии заданного профиля.

2. Методы и материалы. Исследованы различные режимы динамики при буксировке со скоростями от 1,5 узла до 6 узлов. Конструктивными мерами, путём придания определённых форм, а также устройством специальных стабилизаторов удалось добиться динамики дифферента при буксировке аппарата в пределах от 0 до 2 градусов.

Аппарат, обладающий легким корпусом, с блоком плавучести (носитель нейтральной плавучести), например, телеметрический комплекс с рабочей глубиной 4, 6 км может иметь следующие параметры.

- размеры – 2400 × 3600 × 2000 мм;
 - масса – примерно 4000 кг;
 - отрицательная плавучесть – от 0 до 40 кН.
- Кабель-трос буксируемой системы с параметрами:

- диаметр $d_{КТ} = 25$ мм;
- погонная масса – 1,5 кг/м;
- разрывное усилие – 220 кН;
- длина - до 20 км.

Координаты точки схода КТ с судна:

$$x = -55\text{ м}; y = 14\text{ м}; z = 0.$$

Значительная часть КТ при буксировке имеет прямолинейную форму, наклоненную к горизонту под критическим углом [5-6]. При скорости буксировки 6 узлов этот угол составляет примерно $14,3^\circ$, при скорости 3 узла – примерно 29° , а при скорости 1,5 узла - 51° . Под воздействием БА искривляется лишь часть КТ, примыкающая к БА.

При изменении величины P (веса БА в воде) в указанном выше диапазоне глубина хода БА меняется в пределах 300 м. при скорости буксировки 6 узлов и в пределах 650 м при скорости буксировки 3 узла. Натяжение КТ незначительно меняется с изменением скорости буксировки. При скорости 6 узлов величина натяжения в коренном конце КТ при вытравленной длине КТ, равной 20 км, меняется, в зависимости от величины P , в пределах от 100 до 135 кН, при скорости 3 узла – от 110 до 150 кН, а при скорости 1,5 узла – от 120 до 160 кН.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что при длине КТ $L_{КТ} = 20000$ м обеспечить движение БА на глубине порядка 6000 м возможно только на скоростях буксировки, меньших 6 узлов.

Известно, что при углах наклона КТ к горизонту порядка 15 и более градусов у КТ возникает поперечная вибрация, вызванная отрывом вихрей. Эта вибрация снижает ресурсные характеристики КТ. Интенсивность вибрации возрастает по мере увеличения угла наклона КТ к вектору скорости буксировки и достигает своего максимального значения вблизи узла ввода КТ в БА. Если не принять мер по повышению вибропрочности этого узла, то вихревая вибрация может вызвать его разрушение.

Результаты и их обсуждение. В процессе буксировки аппарата может возникнуть необходимость достаточно оперативного изменения глубины хода БА. Наиболее простыми способами управления глубиной хода БА являются изменение вытравленной длины КТ за счет работы лебедки или изменение скорости буксировки.

Так как значительная часть КТ имеет прямолинейную форму, скорость изменения глубины БА за счет работы лебедки при относительно больших длинах КТ может быть с достаточной точностью рассчитана по формуле (1):

$$\frac{dH}{dt} = v_W \sin \varphi_{CR} \quad (1)$$

где H – глубина хода БА; v_W – скорость изменения длины КТ за счет работы лебедки; φ_{CR} – критический угол наклона КТ к горизонту; t – время.

Для КТ, параметры которого указаны выше, величина критического угла может быть оценена по приближенной формуле:

$$tg \varphi_{CR} \approx \frac{0,82}{v} \quad (2)$$

где v – скорость буксировки (м/с).

Возможность изменения глубины БА за счет изменения скорости буксировки v можно судить по результатам расчета, приведенным на рисунках 1 и 2. На графиках представлено изменение глубины хода БА во времени при увеличении скорости буксировки с 3-х узлов до 4-х узлов за 30 секунд и при уменьшении скорости буксировки с 4-х узлов до 3-х узлов за 30 секунд. Видно, что глубина хода БА реагирует на изменение скорости буксировки с определенным запаздыванием. Это запаздывание зависит от длины КТ и увеличивается с ростом последней. При увеличении скорости буксировки глубина хода БА меняется быстрее, чем при торможении судна.

Также медленно при больших длинах КТ реагирует БА на маневрирование судна в горизонтальной плоскости. При развороте на обратный курс БА выходит на новый курс с большим запаздыванием по сравнению с судном. Это запаздывание также увеличивается с ростом длины КТ. В процессе разворота судна происходит заметное изменение глубины хода БА. Она увеличивается и БА может войти в контакт с дном. Чем по более крутой траектории разворачивается судно, тем больше «провал» БА по глубине. Для исключения контактов БА с дном необходимо либо в процессе разворота управлять глубиной хода БА с помощью лебедки, либо до начала разворота уменьшить выпущенную длину КТ до величины, обеспечивающей безопасность разворота.

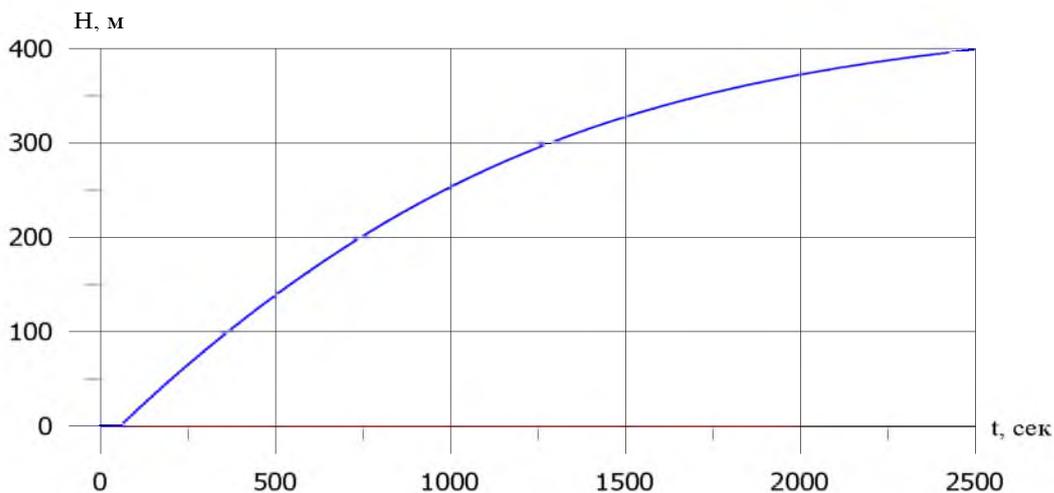


Рисунок 1 – Кривая изменения заглубления УМБК в зависимости от скорости буксировки с 3 узлов до узлов за 30 сек.

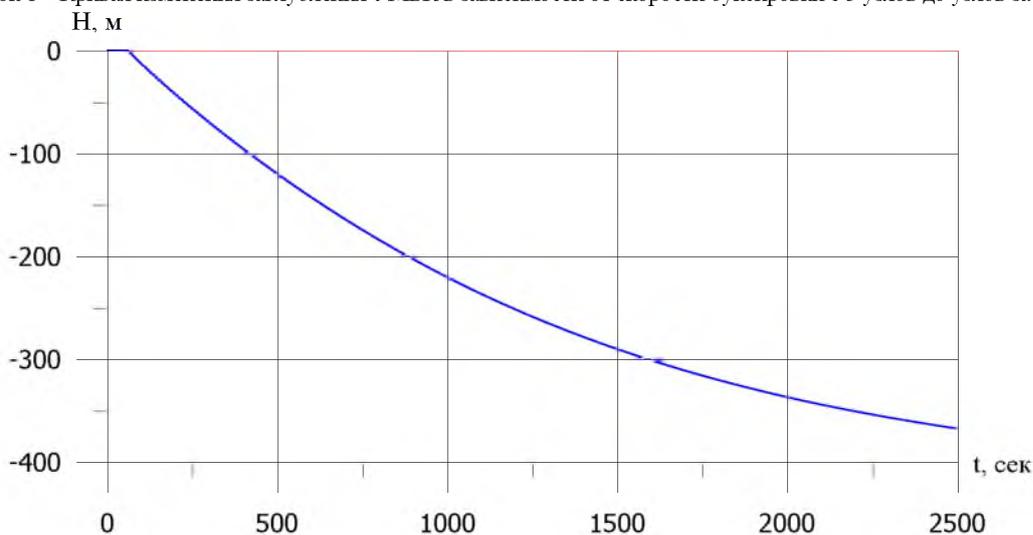


Рисунок 2 – Динамика изменения глубины хода УМБК в зависимости от скорости судна носителя

При буксировке БА в условиях волнения качка судна вызовет колебания БА. Возмущения от качки нормальные к КТ довольно интенсивно затухают вдоль КТ. Этот эффект проявляется тем сильнее, чем больше скорость буксировки. Касательные к КТ возмущения передаются на БА примерно в той же степени, как это имеет место у опускаемой забортной системы. Очевидно, что чем меньше скорость буксировки, тем сильнее качка судна сказывается на поведении БА. Оценки показывают, что при движении со скоростями порядка 3 – 6 узлов качка БА будет незначительной, и для ее уменьшения при оптимальной гидродинамической компоновке БА нет необходимости в дополнительных мероприятиях.

Оптимальность компоновки БА определяется правильным выбором степени флюгерной устойчивости БА и его центровки. Наиболее эффективным способом отработки компоновки является проведение испытаний модели БА по специальной методике [6]. При малых скоростях буксировки только оптимизации компоновки БА для

полного гашения его колебаний обычно недостаточно.

Предварительные расчеты показывают, что при скоростях буксировки порядка 2-х узлов длина оттяжки должна быть больше 15 - 20 метров.

Следовательно, что касается спускоподъемных операций, то предполагается их осуществление с помощью поворотной П-образной рамы, размещенной у транца судна. Так как в опущенном положении рама находится над водой, на последнем этапе подъема БА должен быть полностью поднят из воды и в этом положении может интенсивно раскачиваться под действием качки и волнения. Это воздействие, как следует из расчетов качки, будет минимальным при положении судна «вразрез» волне. Раскачивание БА существенно зависит от компоновки БА.

Главное требование к компоновке БА состоит в том, что БА должен обладать флюгерной устойчивостью не только в полностью погружен-

ном положении, а практически до момента полного отрыва от воды. В этом случае проведение подъемной операции при наличии даже небольшой скорости буксировки (1 – 1,5 узла) обеспечит малые отклонения БА от ДП, т.е. малые амплитуды колебаний БА по углу курса и боковому перемещению. Для минимизации колебаний БА по углу дифферента нужно оптимально выбрать взаимное положение точки буксировки и центра масс БА по длине.

На конечном этапе подъема БА должен быть прижат к раме. Для повышения безопасности точка контакта БА и рамы должна быть оборудована специальным амортизирующим устройством, способным ограничивать боковые колебания БА.

Наилучшим способом проверки работоспособности СПУ является физическое моделирование процесса стыковки БА и СПУ в опытном бассейне при моделировании колебаний рамы СПУ при качке судна на волнении. Такие испытания должны быть проведены на последующих этапах выполнения работы.

Вывод. Совершенствование гидродинамической конструкции опускаемого аппарата достигается его симметричностью и балансировкой.

Вторым подходом является установка на судне устройств компенсации динамики заборного оборудования.

Литература:

1. Морская доктрина Российской Федерации // Судостроение. – 2001. – № 6,
2. Мохов Г.В. Прикладные аспекты совершенствования конструктивных элементов морских геофизических научно-исследовательских судов: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.22.19 / Мохов Григорий Витальевич. – М., 2011. – 24 с.
3. Гегельганц А.А., Крюков А.В. Исследование мировых тенденций в развитии геофизического судостроения. Отчет по теме. НИИМОРГЕОФИЗИКИ. – Мурманск, 1997. – 148 с.
4. Dantsevich I.M., Khekert, E.V., Avanesova, T.P., Germanovich, K.V. Investigations of resistance to strain corrosion cracking in seawater of the base pipe metal in the construction of the Nord Stream - 2 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled, 2021, 872(1), 012020
5. Данцевич, И. М. Формализация задачи движения в продольно-поперечной плоскости

телеуправляемых подводных аппаратов / И.М. Данцевич, М.Н. Лютикова, Ю.Ю. Метревели // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – Т. 4. – № 2(53). – С.168-177. – DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.088.

6. Lubentsov, V.F., Shakhray, E.A., Lubentsova, E.V., Masyutina, G.V., Rostova, A.T. The Use of a Neurocontroller in a Multi-Mode Air Supply Control System at Agricultural and Industrial Facilities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled, 2021, 852(1), 012060.
7. Dantsevich, I.M., Lyutikova, M.N., Novikov, A.Y., Osmukha, S.A. Analysis of a nonlinear system dynamics in the Morlet wavelet basis // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 873(1), 012035

References

1. Morskaya doktrina Rossijskoj Federacii. Sudostroenie, № 6, 2001.
2. Mohov, G. V. Prikladnye aspekty sovershenstvovaniya konstruktivnyh elementov morskikh geofizicheskikh nauchno-issledovatel'skikh sudov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.19 / Mohov Grigorij Vital'evich. – M., 2011. – 24 s.
3. Gagel'ganc A.A., Kryukov A.V. Issledovanie mirovyh tendencij v razvitii geofizicheskogo sudostroeniya. Otchet po teme. NIIMORGEOFIZIKI, Murmansk, 148 s., 1997.
4. Dantsevich, I.M., Khekert, E.V., Avanesova, T.P., Germanovich, K.V. Investigations of resistance to strain corrosion cracking in seawater of the base pipe metal in the construction of the Nord Stream - 2 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled, 2021, 872(1), 012020
5. Dantsevich, I. M. Formalizaciya zadachi dvizheniya v prodol'no-poperyochnoj ploskosti teleupravlyаемых подводных аппаратов / I. M. Dantsevich, M. N. Lyutikova, YU. YU. Metreveli // Morskie intelektual'nye tekhnologii. – 2021. – Т. 4. – № 2(53). – С.168-177. – DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.088.
6. Lubentsov, V.F., Shakhray, E.A., Lubentsova, E.V., Masyutina, G.V., Rostova, A.T. The Use of a Neurocontroller in a Multi-Mode Air Supply Control System at Agricultural and Industrial Facilities // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science this link is disabled, 2021, 852(1), 012060.
7. Dantsevich, I.M., Lyutikova, M.N., Novikov, A.Y., Osmukha, S.A. Analysis of a nonlinear system dynamics in the Morlet wavelet basis // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 873(1), 012035