

16. Molotilov B.V. Nanotehnologii – novoe napravlenie v prezezionnoi metalurgii [Nanotechnology - a new direction in precision metallurgy]. *Stal' – Steel*, 2005, no. 1, pp. 97-100. (Rus.)
17. Valiev R.V., Korznikov A.V., Mulykov R.R. Structura i svoistva metallicheskikh materialov s submikrokristallicheskoj structuroi [Structure and properties of metallic materials with submicrocrystalline structure]. *Fizika metallov i metallovedenie – Metal physics and metallography*, 1992, no. 4, pp. 70-86. (Rus.)
18. Schulaev V.M. Ingeneriya neorganicheskikh nanomaterialov [Inorganic Nanomaterials Engineering]. *Mir tehniki i tehnologii – The world of equipment and technology*, 2007, no. 2, pp. 62-64. (Rus.)

Рецензент: В.А. Мазур
канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 24.10.2018

УДК 621.833

doi: 10.31498/2225-6733.37.2018.160268

© Маргулис М.В.¹, Куберский Е.В.²

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ С ВОЛНОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

В статье приведен анализ известных конструкций приводов передвижения с волновой зубчатой передачей (ВЗП) для металлургических машин, отмечены существенные недостатки и предложено новое рациональное конструктивное решение такого привода. Известно, что в приводах металлургических машин используются большие передаточные отношения ($u \approx 80 \dots 2500$) и в традиционных (неволновых) приводах передаточные механизмы имеют несколько ступеней с большим числом дорогостоящих составных частей (зубчатых колёс, валишестерен, подшипников качения и других). Этим обстоятельством объясняются большие материалоемкость и габаритные размеры, трудоемкость, себестоимость изготовления и ремонтов таких приводов. Поэтому ВЗП, позволяющие выполнить в одной ступени редуктора передаточное число до $u \approx 500$, обеспечивают снижение материалоемкости в 2...3 раза за счет уменьшения числа ступеней и деталей с соответствующим снижением трудоемкости, себестоимости изготовления и ремонтов, а также увеличением надежности и долговечности, при КПД=0,8...0,9 и высокой кинематической точности. Однако в рассмотренных нами конструктивных решениях приводов с ВЗП металлургических машин имеется ряд существенных недостатков по перечисленным выше параметрам, и они могут быть улучшены за счёт новой рациональной конструкции ВЗП.

Ключевые слова: привод, машина, волновая зубчатая передача, себестоимость, надежность.

Маргуліс М.В., Куберський Є.В. Розробка раціональної конструкції привода пересування з хвильовою зубчастою передачею для металургійних машин. В статті наведено аналіз відомих конструкцій приводів пересування з хвильовою зубчастою передачею (ХЗП) для металургійних машин. Відомо, що приводи з ХЗП мають суттєві переваги перед приводами з традиційними (нехвильовими): до трьох разів менші матеріалогобаритні параметри і, відповідно, менша трудомісткість і собівартість виготовлення, менші динамічні навантаження, що

¹ д-р техн. наук, професор, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь

² магістр, ГВУЗ «Приазовський державний технічний університет», г. Маріуполь

забезпечує більшу довговічність і надійність, в одному ступені передавальне число може бути до 500 при КПД = 0,8...0,9 і високій кінематичній точності. Однак розглянуті приводи з ХЗП мають ряд конструкційних недоліків: велику матеріаломісткість і габаритні розміри, велику кількість складових частин і, відповідно, меншу довговічність і надійність, а також велику трудомісткість і собівартість виготовлення. Це пов'язано з тим, що розглянуті конструкції приводів з ХЗП проектувалися без достатнього аналізу технологічності як складових одиниць, так і окремих деталей, заготовки для них, відповідно, масивні і трудомісткі для механічної обробки та у складанні, що значно збільшує витрати на виготовлення виробів. Звісно, що для технологічних виробів характерні мінімальні трудомісткість та витрати коштів на проектування конструкції та технології виготовлення, ремонту і їх експлуатацію. Таким чином, проаналізовані приводи потребують удосконалення за рахунок впровадження нової конструкції хвильової зубчастої передачі, що дозволяє значно зменшити кількість складових частин, відповідно, зменшити матеріальногабаритні параметри, трудомісткість, довговічність і надійність привода пересування. У зв'язку з цим, авторами статті була розроблена раціональна конструкція привода пересування з ХЗП для металургійних машин (сталевозу, чавуновозу, шлаковозу), яка суттєво удосконалює цей пристрій.

Ключові слова: привод, машина, хвильова зубчаста передача, собівартість, надійність.

M.V. Margulis, E.V. Kuberskiy. Development of rational design of a drive equipped with harmonic drive of iron and steel machine. The article contains a comparative analysis of well known drives designs with harmonic drive gearing (HDG) intended for application on iron and steel machines. The drives of iron and steel machines equipped with HDG are known to have certain advantages over traditional drives (not equipped with HDG), as their overall dimensions are three times smaller, as compared to conventional ones, they possess smaller labour consumption and lower production costs, lower dynamic loads, it ensuring higher service life and better reliability. Their gear-ratios can reach the value of 500, the performance factor ranging between 0,8-0,9 with high kinematic precision. Still the analyzed drives with HDG have a number of drawbacks, such as: high material capacity, big overall dimensions, a great number of component parts, it leading to reduced service lives and lesser reliability as well as high manufacturing and production costs. This is due to the fact that analyzed designs of drives with HDG were developed without sufficient analysis of technologic capacities of both their components and separate parts, which happen to be bulky and blank parts for their manufacturing are bulky as well and are difficult for mechanical treatment and welding, it drastically increasing production costs for manufacturing chains of HDG. It is known that practically feasible parts are characterized by minimal expenses on their designing, development and manufacturing, as well as repairs and exploitation, so these drawbacks should be eliminated. Thus, the analyzed designs require improvement, by means of implementing a new design of a harmonic drive gearing. The new design will allow to reduce the number of component parts and overall dimensions, production costs, while increasing service life and reliability of the drive. With regard to it the authors have prepared a rational design of a drive, equipped with HDG to applied on iron and steel machines (steel carrying moulds, cast-iron carriers, slag carriages), that drastically improves this appliance.

Keywords: drive, machine, harmonic drive, production costs, reliability.

Постановка проблеми. В настоящее время в приводах различных машин (в том числе и металлургических) используются традиционные передаточные механизмы с цилиндрическими, коническими, реечными, червячными и другими передачами. В связи с большими передаточными числами $u \approx 80 \dots 2500$ в приводах тяжёлых машин (особенно металлургических: миксеров, конвейеров, транспортных машин и др.) рационально использование волновых передач, которые позволяют получить передаточное число в одной ступени до $u \approx 500$, что исключает

необходимость в многоступенчатых традиционных передачах, в 2,0...3,0 раза уменьшает материалоемкость приводов и, соответственно, их себестоимость. Таким образом, проблема усовершенствования приводов актуальна и может быть решена применением волновой передачи новой рациональной конструкции [1].

Анализ последних исследований и публикаций. В научных публикациях вопрос разработки приводов передвижения для металлургических машин освещён недостаточно [2-8], что и явилось причиной написания данной статьи. Проведённые стендовые и эксплуатационные исследования ряда приводов тяжелых металлургических машин [9] показали их большую экономическую целесообразность, что подтверждает необходимость их применения.

С учетом вышеизложенного были рассмотрены известные конструкции приводов передвижения с ВЗП для металлургических машин и выявлены их существенные недостатки, изложенные ниже.

На рис. 1 представлена известная конструктивная схема привода передвижения металлургической машины [10], которая включает: электродвигатель 1, соединительную муфту 2, волновую зубчатую передачу 3, состоящую из корпуса 4, являющегося одновременно жёстким колесом с двумя наружными зубчатыми венцами 5 и внутренним зубчатым венцом 6, выполняющим волновое зацепление с гибким колесом 7, внутри которого размещено подкладное кольцо 8 и диск генератора волн 9; при этом, остановленное гибкое колесо 7 соединено двумя шлицевыми венцами с аналогичными венцами опорных дисков 10; диск генератора 9 и опорные диски 10 установлены на эксцентриковых шейках входного вала 11, соединенного муфтой 2 с электродвигателем 1, и приводная ведущая пара колёс 13 тележки машины (на рисунке тележка отсутствует) соединяется валом 12 посредством двух зубчатых колёс 14, связанных с наружными зубчатыми венцами 5 жесткого колеса 4.

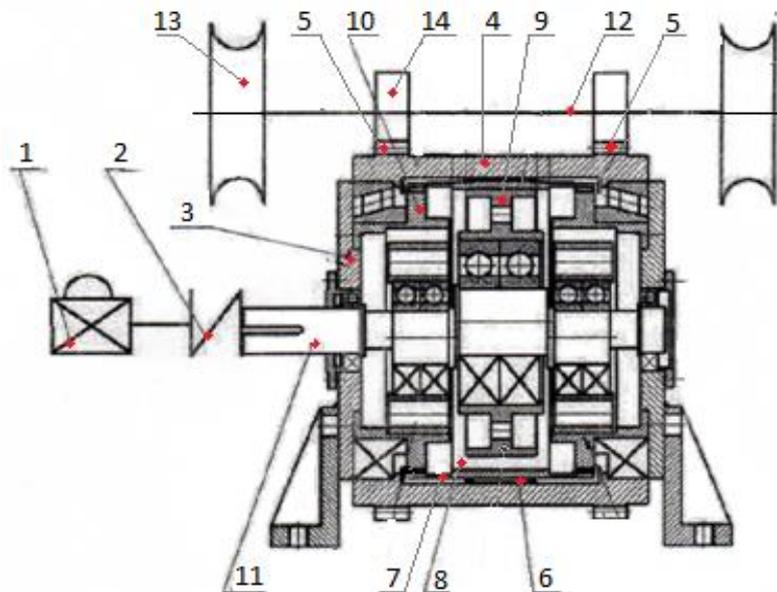


Рис. 1 – Конструктивная схема привода передвижения металлургической машины

Привод функционирует следующим образом: электродвигатель посредством соединительной муфты вращает эксцентриковый вал, являющийся одновременно валом генератора волн, создающим волну деформации зубчатого венца остановленного гибкого колеса, соединенного посредством волнового зацепления с внутренним зубчатым венцом жесткого колеса. Это вращение производится посредством двух наружных зубчатых венцов жесткого колеса, соединенных с двумя зубчатыми колесами вала приводной пары колес тележки, при их вращении перемещается машина с емкостью, загруженная сталью, чугуном или шлаком.

Недостатками данной конструкции являются большая материалоемкость и сложность передаточного механизма ВЗП со многими звеньями, в том числе нетехнологичными в изготовлении; эксцентриковый вал, опорные диски со шлицами, наружные зубчатые венцы на жёстком

колесе и зубчатые колёса, установленные на валу ведущей пары колес, замена которых проблематична и ограничивает ремонтпригодность, что определяет необходимость усовершенствования данной конструкции привода.

Рассмотрим конструкцию второго известного привода передвижения металлургических машин, рис. 2, [11].

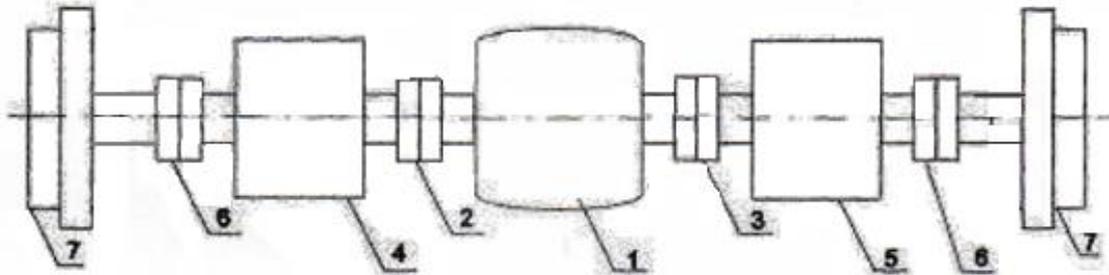


Рис. 2 – Конструктивная схема привода передвижения транспортного реечного устройства

Данный привод включает электродвигатель 1, противоположные валы которого соединены зубчатыми муфтами 2, 3 с двумя волновыми зубчатыми передачами 4, 5, которые соединяются муфтами 6 с приводными колёсами 7 тележки металлургической машины. Данный привод присоединяется к нижней части тележки машины (на рисунке не показано).

Привод работает следующим образом: электродвигатель 1 посредством муфт 2, 3 вращает обе ВЗП 4, 5, выходные валы которых посредством муфт передают движение на приводные колеса тележки 7 металлургической машины с грузом.

Недостатками этого привода являются использование большого количества массоемких составных звеньев, высокая трудоемкость и себестоимость. Кроме того, большое число звеньев привода, как правило, характеризуется меньшей долговечностью и ремонтпригодностью, что отрицательно сказывается на производительности и экономичности машины.

Цель статьи – решение проблемы усовершенствования привода передвижения металлургических машин (сталевозов, чугуновозов, шлаковозов) посредством создания, исследования и внедрение волновой зубчатой передачи новой конструкции.

Изложение основного материала. Привод, как известно, включает двигатель, соединительное звено и передаточный механизм (редуктор и/или мультипликатор). Основные качественные показатели передаточного механизма следующие: удельная материалоемкость (отношение его массы к номинальному вращающему выходному моменту (кг/Н·м), удельная энергоёмкость (кВт/Н·м), габаритные размеры, динамическая, шумовая и температурная характеристики, надежность, ремонтпригодность, долговечность и себестоимость изготовления.

Для разработки рационального привода любой машины необходимо, чтобы составные части его передаточного механизма были разработаны с высоким уровнем технологичности, т. е. чтобы они были изготовлены, отремонтированы и эксплуатировались с минимальной трудоемкостью и себестоимостью. Отдельные детали должны иметь наиболее простую геометрическую форму с оптимизированной точностью отдельных поверхностей на основе размерно-функционального анализа с учетом необходимого уровня точности.

Детали должны обладать высокой технологичностью для сборки их в сборочные единицы, а последние – для сборки машины в целом.

Кроме того, при разработке привода тяжёлых машин с ВЗП целесообразно:

- использовать высокооборотные электродвигатели, обладающие меньшей материалоемкостью и себестоимостью;
- выбрать статически определённую структурную схему передаточного механизма, не имеющую избыточных связей, выполнив расчёт на отсутствие избыточных связей по известной формуле Малышева, что обеспечит возможность изготовления их с меньшей точностью и себе-

стоимостью, а также самоустанавливаться при передаче рабочих нагрузок, что обеспечивает большую надежность и долговечность;

- выявить при размерном анализе замыкающее звено сборочной размерной цепи каждого узла и передаточного механизма в целом, выполнив расчёт размерных цепей, выявить необходимую точность сопрягаемых звеньев, соблюдая известное правило: допуск замыкающего звена должен быть равен или больше суммы допусков составляющих звеньев или иметь компенсирующее звено, обеспечивающее нормальное функционирование устройства [7, 9].

С целью создания рационального привода с ВЗП для передвижения металлургических машин авторами статьи была разработана усовершенствованная конструкция, представленная на рисунке 3 [12].

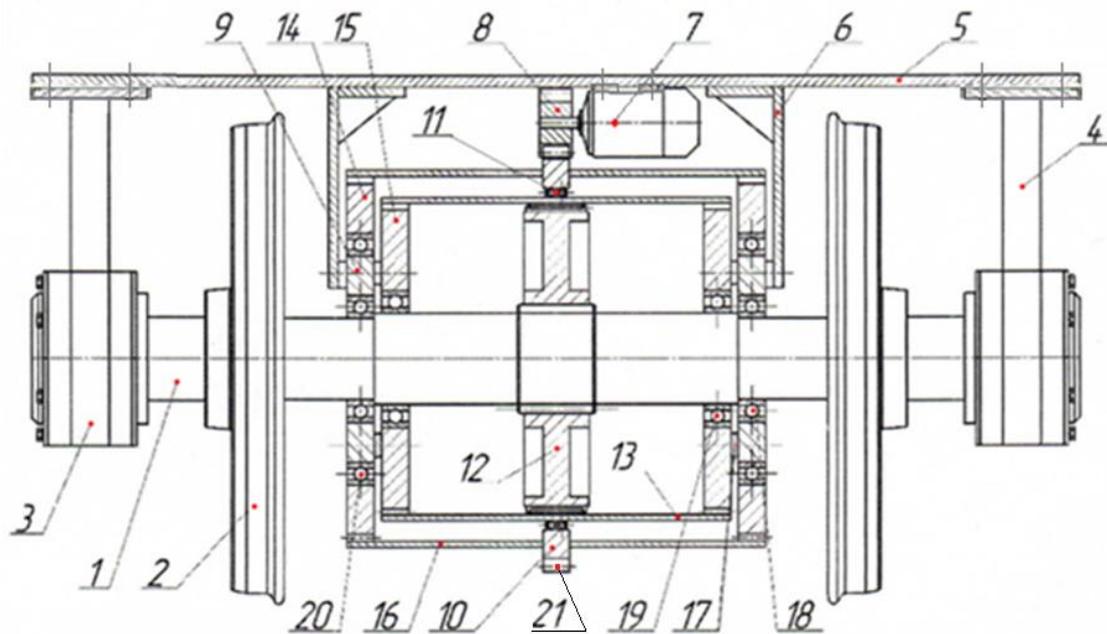


Рис. 3 – Схема рациональной конструкции привода передвижения металлургической машины

Данный привод включает следующие элементы: приводной вал 1 и ходовые колёса 2, составляющие ведущую колесную пару тележки металлургической машины, подшипниковые буксы 3, в которых установлена колесная пара, служащая опорами для стоек 4, неподвижно прикрепленные к платформе 5, являющиеся частью тележки, к которой крепятся кронштейны 6, электродвигатель 7 с шестерней 8. ВЗП состоит из генератора волн, включающего жёсткий фланец 10 с наружным зубчатым венцом 21, внутри фланца 10 установлен стандартный гибкий подшипник 11, наружное кольцо которого жестко установлено на внутренней поверхности фланца 10, внутреннее кольцо гибкого подшипника наружной поверхностью опирается на тела качения, а снаружи плотно облегает гибкое колесо 13, внутренние зубья которого входят в наружные зубья жесткого колеса 12 посредством шлицевого соединения с валом 1 и волновым зацеплением с зубчатым венцом гибкого колеса 13. Корпус редуктора состоит из дисков 9, 14, 15, барабана 16 и посредством сварки соединен с фланцем 17, соединяющим диски 9 и 15. Все звенья на валу 1 устанавливаются посредством подшипников 18, 19, 20.

Данный привод работает следующим образом: электродвигатель 1 посредством звеньев 6-8 вращает генератор волн, который гибким подшипником 11 деформирует остановленное гибкое колесо 13, создавая волновое зацепление между гибким и жестким колесом 12, которое приводит во вращение посредством шлицевого соединения вал 1 с колесной парой и одновременно перемещает тележку по железнодорожному пути.

Таким образом, разработана рациональная конструкция привода тележки металлургической машины с минимизированными массогабаритными параметрами и числом звеньев, благодаря новому конструктивному решению передаточного механизма с ВЗП.

Выводы:

1. С целью усовершенствования известных приводов с ВЗП для передвижения металлургических машин авторами статьи был выполнен их конструктивный анализ на предмет рациональности.

2. По результатам анализа рассмотренных конструкций приводов была разработана новая рациональная конструкция аналогичного привода с ВЗП.

Список использованных источников:

1. Пат. 123285 Україна, МПК F 16 Н 1/04, В 61 F 3/00. Привід пересування транспортних засобів / М.В. Маргуліс, Є.В. Куберський. – № u201707549; заявл. 17.07.17; опубл. 26.02.18, Бюл. 4. – 3 с.
2. Маргуліс М.В. Снижение материалоемкости машин / М.В. Маргуліс. – К. : Техника, 1985. – 64 с.
3. Волков Д.П. Волновые зубчатые передачи / Д.П. Волков, А.Ф. Крайнев, М.В. Маргуліс. – К. : Техника, 1976. – 222 с.
4. Волков Д.П. Волновые зубчатые передачи / Д.П. Волков, А.Ф. Крайнев, М.В. Маргуліс. – Будапешт : МИСЦАКИ, 1984. – 317 с.
5. Гинзбург Е.Г. Волновые зубчатые приводы / Е.Г. Гинзбург. – Л. : Машиностроение, 1969. – 159 с.
6. Маргуліс М.В. Создание и исследование механизма поворота с волновой зубчатой передачей для мощных роторных экскаваторных и отвалообразователей : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.02 / Маргуліс Михаил Владимирович. – М., 1972. – 162 с.
7. Маргуліс М.В. Основы расчета и методология создания высокомоментных волновых передач для приводов тяжелых машин : дис. ... д-р техн. наук : 05.02.02 / Маргуліс Михаил Владимирович. – Л., 1991. – 435 с.
8. Кудрявцев Е.Н. Проектирование сложных зубчатых механизмов / Ю.Н. Кудрявцев, А.Н. Иванов. – Л. : Машиностроение, 1973. – 332 с.
9. Маргуліс М.В. Пути совершенствования приводов литейных машин различного назначения / М.В. Маргуліс // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ПДТУ. – Маріуполь, 2000. – Вип. 10. – С. 133-138.
10. Пат. 21500 Україна, МПК F 16 Н 1/04. Привід пересування металургійної машини / А.Д. Чепурний, М.В. Маргуліс, М.М. Пекліч, О.О. Генералов, І.В. Добровольська. – № u200610693; заявл. 10.10.06, опубл. 15.01.07, Бюл. 3. – 3 с.
11. Пат. 20258 Україна, МПК В 61 F3/00. Привід пересування транспортного рейкового засобу / М.В. Маргуліс, О.О. Генералов, М.Л. Шуріна. – № u200608078; заявл. 18.07.06, опубл. 15.01.07, Бюл. 1. – 2 с.
12. Маргуліс М.В. Выявление и расчёт исходного (замыкающего) звена при размерно-функциональном анализе силовой волновой зубчатой передачи / М.В. Маргуліс // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ПДТУ – Маріуполь, 2010. – Вип. 20. – С. 199-203. – (Серія : Технічні науки).

References:

1. Margulis M.V., Kubers'kii E.V. *Privid peresuvannia transportnikh zasobiv* [Drive vehicle movement]. Patent UA, no. 123285, 2018. (Ukr.)
2. Marhulis M.V. *Snizhenie materialoemkosti mashin* [Reduction of materials consumption in machines]. Kyiv, Technika Publ., 1985. 64 p. (Rus.)
3. Volkov D.P., Kraynev A.F., Marhulis M.V. *Volnovye zubchatye peredachi* [Harmonic tooth drives]. Kyiv, Technika Publ., 1976. 222 p. (Rus.)
4. Volkov D.P., Kraynev A.F., Marhulis M.V. *Volnovye zubchatye peredachi* [Harmonic tooth drives]. Budapest, MISTsAKI Publ., 1984. 317 p. (Rus.)
5. Ginsbough E.G. *Volnovye zubchatye privody* [Harmonic tooth drives]. Leningrad, Machine building Publ., 1969. 159 p. (Rus.)
6. Marhulis M.V. *Sozdanie i issledovanie mekhanizma povorota s volnovoі zubchatoi peredachei dlia moshchnykh rotornykh ekskavatorykh i otvaloobrazovatelei*. Diss. kand. techn. nauk [Development and investigation of a turning mechanism, equipped with harmonic tooth drive]

- for powerful rotor excavating and dumping machines. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1972. 156 p. (Rus.)
7. Marhulis M.V. *Osnovy rascheta i metodologiya sozdaniia vysokomomentnykh volnovykh peredach dlia privodov tiazhelykh mashin*. Diss. dokt. techn. nauk [Fundamentals of evaluation and methods of developing high momentum harmonic drives, specified for heavy-duty machines. Doct. tech. sci. diss.]. Leningrad, 1991. 435 p. (Rus.)
 8. Kudryavtsev Y.N., Ivanov A.N. *Proektirovanie slozhnykh zubchatykh mekhanizmov* [Designing of complicated tooth mechanisms]. Leningrad, Machine building Publ., 1973. 332 p. (Rus.)
 9. Marhulis M.V. Puti sovershenstvovaniia privodov liteinykh mashin razlichnogo naznacheniiia [Ways of perfecting drives of casting machines]. *Visnik Priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu – Reporter of the Priazovskyi State Technical University*, 2000, vol. 10, pp. 133-138. (Rus.)
 10. Cherpurnii A.D., Margulis M.V., Peklich M.M., Generalov O.O., Dobvol's'ka I.V. *Privid peresuvannia metalurgiinoi mashini* [Drive of a motion machine for iron steel machines]. Patent UA, no. 21500, 2007. (Ukr.)
 11. Margulis M.V., Generalov O.O., Shurina M.L. *Privid peresuvannia transportnogo reikovogo zasobu* [Drive of rail transportation appliance]. Patent UA, no. 20258, 2007. (Ukr.)
 12. Margulis M.V. Vyiavlenie i raschet iskhodnogo (zamykaiushchego) zvena pri razmerno-funktsional'nom analize silovoi volnovoi zubchatoi peredachi [Identification and calculation of the original (closing) link with dimensional and functional analysis of the power of the wave gear drive]. *Visnik Priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2010, vol. 20, pp. 199-203. (Rus.)

Рецензент: В.В. Суглобов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 07.09.2018

УДК 629.5.128.5:629.5.015

doi: 10.31498/2225-6733.37.2018.160271

© Лугінін О.Є.¹, Коршиков Р.Ю.², Терлич С.В.³

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ МІЦНОСТІ І ВІБРАЦІЇ СУДЕН ТА ЇХ КОНСТРУКЦІЙ

Реалізуються комп'ютерно-орієнтовані математичні моделі загальної та місцевої міцності і вібрації суден. Розглядаються міцнісні задачі для судна і його конструкції, які узагальнені і комп'ютеризовані авторами для практичних потреб і для використання в навчальному процесі в розрахунках таких балочних схем: загального поздовжнього згину судна у вертикальній площині на тихій воді, спуску його з поздовжнього похилого стапеля і постановці в сухий док для здійснення ремонтних робіт; поперечного згину нерегулярних суднових перекриттів; визначення форм і частот вільної вібрації корпусу судна.

Ключові слова: математичні моделі, балочні схеми, загальна та місцева міцність, спуск і докування суден, вібрація корпусу судна.

¹ канд. техн. наук, професор, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, O.Looginin@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, ro574@yandex.ru

³ ст. викладач, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв, sterlych@ukr.net