

10 Hz | 20 Hz | 30 Hz | 40 Hz | 50 Hz | 60 Hz | 70 Hz | 80 Hz | 90 Hz | 100 Hz | 110 Hz | 120 Hz | 130 Hz | 140 Hz | 150 Hz | 160 Hz | 170 Hz | 180 Hz | 190 Hz

# МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

10011010011011111001100100011000101001110100100011000110101011110100001001001010010011  
01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010  
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001  
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110  
11010110000101011110100101001101101010110001011010101101001010011101010101101001101001  
10011010011011111001100100011000101001110100100011000110101011110100001001001010010011  
01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010  
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001  
010100011011101001000100111011000010110011101010011101001100110001010101101010010011001110  
11010110000101011110100101001101101010110001011010001100001010011101010001101001101001

№ 2 (40) Т. 2 2018



01000110110000011011011000101001001110100111001101001110100110101000011101100111001010  
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001  
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110  
110101100001010111101001010011011010101100010110101011010010100111010101 101001  
10011010011011111001100100011000101001110100101011000110101011110101101 1010  
010001101100000110110110001010010011101001110011101001110100110101000010 011





# МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 2 (40) Т.2 2018 [www.morintex.ru](http://www.morintex.ru)

Электронное сетевое (ISSN 2588-0233) и печатное (ISSN № 2073-7173) издание

Тематика: кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление

## Главный редактор:

**Н.В. Никитин, д.т.н., профессор**

## Редакционный Совет Сопредседатели

И.Г.Захаров, д.т.н., профессор, заместитель генерального директора ЦМКБ «Алмаз»

Г.А. Туричин, д.т.н., Ректор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

## Члены Совета

Е.М. Апполонов, д.т.н. генеральный директор ЦКБ «Лазурит»

А.И. Гайкович, д.т.н., профессор, генеральный директор, НИЦ "МОРИНТЕХ"

И.Г. Малыгин, д.т.н., профессор, директор, Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук

Г.Н. Муру, к.т.н., исполнительный директор, 51 ЦКТИ судоремонта

Д.В. Никущенко, д.т.н., профессор, проректор по научной работе, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

С. А. Огай к.т.н., доцент ректор, Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского

Одд М. Фалтинсен, профессор, Норвежский университет науки и технологии, Норвегия

Пентти Куяла, профессор, университет Аалто, Финляндия

В.Н. Половинкин, д.т.н., профессор, референт генерального директора, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

К.В. Рождественский, д.т.н., профессор, проректор по международному сотрудничеству, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

С.П. Столяров, д.т.н., профессор, декан факультета корабельной энергетики и автоматики, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

## Редакционная коллегия

### Заместители главного редактора

А.И. Гайкович, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет

Д.А. Скороходов, д.т.н., профессор, Институт проблем транспорта РАН

А.И. Фрумен, к.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет

П.А. Шауб, д.т.н., профессор, НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ

### Члены Редакколлегии

А.В. Алексеев, д.т.н., профессор Санкт-Петербургский государственный университет

Р.В. Борисов д.т.н. профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Ю.А. Власов, к.ф.-м.н. преподаватель, Флоридский Международный Университет, Майами, США

М.В. Войлошников, д.т.н., профессор, Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского

А.Н. Дядик, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет

В.А. Евтеев, д.т.н., Объединенная судостроительная корпорация

Ю.И. Нечаев, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

В.В. Родионов, к.т.н, с.н.с., ЗАО «Си Проект»

В.Ю. Семенова, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский морской государственный университет

Н.А. Тарануха, д.т.н., профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

**Периодичность издания** — 4 номера в год

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) <http://vak.ed.gov.ru>

**Журнал включен в Перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук и в международную реферативную базу данных Web of Science**

Рукописи представляются в редакцию в электронном виде (на диске или по электронной почте: [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru))

**Учредитель - издатель:** Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

**Свидетельства о регистрации СМИ** ПИ № ФС77-32382 от 09.06.2008, Эл № ФС72-3345

Редакция в обязательном порядке осуществляет экспертную оценку всех материалов, публикуемых в журнале

**190121 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д.3**

**Телефон/факс +7 (812) 513-04-51,**

**e-mail: [mit-journal@mail.ru](mailto:mit-journal@mail.ru)**

Ответственность за содержание информационных и рекламных материалов, а также за использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, несут авторы и рекламодатели.

**Перепечатка допускается только с разрешения редакции** Мнение редакционного совета и членов редколлегии может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций

**Редакционная этика журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

Редакционная деятельность научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» опирается, в частности, на рекомендации Комитета по этике научных публикаций, а также на ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

<http://morintex.ru/ru/nauchnyj-zhurnal/redakcionnaya-etika/>

**Напечатано в центре полиграфии НИЦ «МОРИНТЕХ»**

Дизайн: А.В. Антонов

Верстка: А.И. Соломонова

СОДЕРЖАНИЕ

О журнале .....	стр 8
К 75-летию Дмитрия Алексеевича Скороходова.....	10
<b>КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ</b>	
Балабанов Б.А., Ляпидов К.С., Турусов С.Н. Состояние, тенденции и перспективы развития корабельной электротехники .....	13
<b>ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА</b>	
Острик А.В., Терновой В.Я., Николаев Д.Н. Методы экспериментального исследования механического действия импульсных потоков излучений на тонкостенные конструкции .....	21
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ</b>	
Каймаков И.С., Крюков М.С., Николаева А.А., Февральских А.В. Исследование формы руля в составе компоновки водометного движителя судна с воздушной каверной по результатам CFD-моделирования .....	27
<b>ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА</b>	
Нго Ж.В. Моделирование процесса компенсации отклонений трасс трубопроводов судовых систем (на английском языке) .....	34
Герасимов Н.И., Грачев И.В. К вопросу центрирования тяжеловесных сборочно-монтажных единиц .....	40
Во Ч.К., Сахно К.Н. Применение теории размерных цепей к расчёту отклонений трасс судовых трубопроводов.....	47
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)</b>	
Иванов В.Г., Степанов И.В., Томов А.А. К вопросу выбора электродвигателей гребных электроприводов необитаемых подводных аппаратов.....	52
Глушков С.П., Глушков С.С., Кочергин В.И., Лебедев Б.О. Анализ динамических характеристик крутильно-колебательных систем судовых энергетических установок.....	59
Герасимов В.А., Комлев А.В., Красковский М.В., Филоженко А.Ю. Токовая разгрузка системы бесконтактной передачи электроэнергии на подводный аппарат.....	67
Ищенко А. Д., Роенко В. В., Малыгин И.Г, Комашинский В.И. Инновации в тушении пожаров энергетических установок и помещений судов (кораблей).....	73
Ищенко А.Д., Чистяков Т.И., Малыгин И.Г, Вислогузов В.В. Электробезопасность при тушении пожаров класса Е энергетических установок и помещений судов (кораблей).....	81
Соломахин Ю. В., Цыганкова Л.П., Фершалов А.Ю. Потери кинетической энергии на вентиляцию газа в парциальных малогабаритных осевых турбинных ступенях.....	90
Тепляков М. В., Лошенко М. Д. О влиянии ёмкости проводников и характеристик изоляционных материалов на токи потерь в корабельных гермовводах.....	95
Темникова А.А., Рубан А.Р. Оптимизация выбора главного судового двигателя .....	102
Опра Д.П., Гнеденков С.В., Синебрюхов С.Л., Соколов А.А., Войт Е.И., Минаев А.Н., Железнов В.В. Фундаментальные проблемы применения литий-ионных аккумуляторов в области морских технологий .....	108

УДК 629.5.035-233.1.081.4:629.5.021.18

## К ВОПРОСУ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ СБОРОЧНО-МОНТАЖНЫХ ЕДИНИЦ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Николай Иванович Герасимов**

доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник  
Акционерного общества «Центр технологии судостроения и судоремонта», 198095, Санкт-Петербург, ул.  
Промышленная, д.7

тел. (812) 610-65-48 e-mail: [3331@sstc.spb.ru](mailto:3331@sstc.spb.ru)

**Иван Владимирович Грачев**

начальник сектора технологий сборки и монтажа энергоустановок  
Акционерного общества «Центр технологии судостроения и судоремонта», 198095, Санкт-Петербург, ул.  
Промышленная, д.7

тел. (812) 610-65-86 e-mail: [3331@sstc.spb.ru](mailto:3331@sstc.spb.ru)

### Аннотация

В работе рассматривается процесс центрирования тяжеловесных сборочно-монтажных единиц судового оборудования при постройке объектов морской техники. Авторами акцентируется техническая проблема точного базирования сборочных изделий относительно судовых монтажно-базовых плоскостей. Кратко описываются физическая сущность механизма «скачкообразного» перемещения тяжеловесного тела и возникающие сложности достижения точных перемещений.

На основании выполненных исследований авторами установлены функциональные зависимости путей перемещения центрируемого объекта от значений жесткости технологических упоров, необходимых для создания боковых или продольных усилий.

Даны рекомендации и формулы для точного определения пути перемещения при штатной установке сборочно-монтажной единицы судового оборудования относительно базовых плоскостей судового помещения.

Приведены расчеты ожидаемых перемещений тяжеловесных изделий при выполнении нагружений отжимными устройствами и рекомендации точного базирования тяжеловесов при использовании технологических отжимных упоров, установленных на расчетном расстоянии с противоположной стороны.

Излагаемый материал статьи иллюстрирован рисунками, таблицами и графиками. Авторами даются пояснения и конкретные выводы в целом по работе, являющимися технологическими рекомендациями центрирования судового оборудования.

В статье даются ссылки на литературные источники, подтверждающие или разъясняющие излагаемый материал.

**Ключевые слова** Сборочно-монтажные единицы, центрирование, базирование, монтажно-базовые плоскости, отжимные устройства, статическое и динамическое трение

## CENTERING OF HEAVY-WEIGHT ASSEMBLY AND INSTALLATION UNITS OF SHIP EQUIPMENT

**Nikolay I. Gerasimov**

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher  
Joint Stock Company "Shipbuilding & Shiprepair Technology Center" (JSC "SSTC"),  
198095, Saint-Petersburg, 7, Promyshlennaya Street

**Ivan V. Grachev**

Head of the sector of technologies for assembly and installation of power plants  
Joint Stock Company "Shipbuilding & Shiprepair Technology Center" (JSC "SSTC"),  
198095, Saint-Petersburg, 7, Promyshlennaya Street

### Abstract

This paper considers the process of centering heavy-weight assembly and installation units of marine equipment. The authors emphasize the technical problem of the exact basing of assembly products regarding ship mounting-base planes. The article deals with the physical essence of the "hopping" movement mechanism of heavy body and emerging difficulties of achieving accurate displacements.

Based on the research carried out by the authors, functional dependences of paths of movement of the centered object on the values of stiffness of technological stops required to create lateral or longitudinal forces are established.

There are recommendations and formulas to determine the exact displacement path during normal installation of assembly units of marine equipment relative to the reference planes of the ship premises.

There are calculations of the expected movements of heavyweights with carrying out loads by squeezing devices and recommendations for the exact basing of heavyweights with the use of technological squeezing devices installed at the calculated distance from the opposite side.

The article is illustrated with figures, tables, and graphs. The authors give explanations and specific conclusions in general on the work, which are technological recommendations for the centering of ship equipment.

The article gives references to literature sources that confirm or clarify the material presented in this paper.

**Key words** Assembly and mounting units, centering, basing, mounting-base planes, squeezing devices, static and dynamic friction.

### Введение

В практике модульно-агрегатных методов (МAM) монтажа тяжеловесных крупногабаритных сборочно-монтажных единиц (СМЕ) энергоустановок или общего судового оборудования сложной и ответственной задачей является обеспечение точного базирования СМЕ относительно монтажно-базовых плоскостей (МБП) строящегося или ремонтируемого судна [1,2,3,4,5]. При этом в большинстве случаев установка собранных изделий в исходное положение осуществляется в затесненных судовых условиях с соблюдением жестких требований проектной документации по точному совмещению стыкуемых конструкций, получению необходимых зазоров и т.п. Для достижения точной установки оборудования на судовом фундаменте применяют процессы центрирования в горизонтальной плоскости и по высоте путем использования специальных средств оснащения, конструктивно представляющих простые технологические устройства, позволяющие создавать необходимые усилия для перемещения изделий. В судостроении и судоремонте применяются различные типы центрирующих устройств, чаще всего отжимные болтовые конструкции или клиновые, пневмогидравлические домкраты, которые, как правило, используются для центрирования более тяжеловесных изделий (рис.1, 2, 3). Часто процесс центрирования СМЕ, имеющих значительные массы, осуществляют на телах вращения, например, на шариковых устройствах (рис.3), на подкладках, изготовленных из полимерных материалов [6, 7, 8, 9, 10].

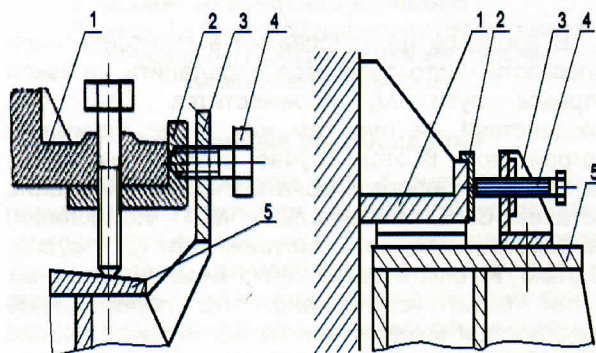


Рисунок 1 Схемы центрирующих устройств с использованием отжимных болтов

1 - полка опорная СМЕ; 2 – планка для упора; 3 – кронштейн устройства для центрирования; 4 – болт отжимной; 5 – полка судового фундамента

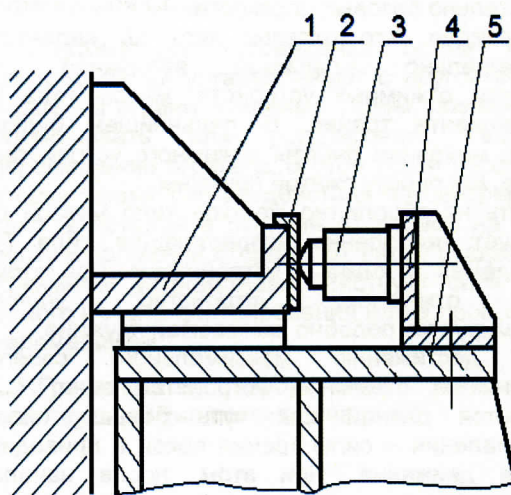


Рисунок 2 Схема центрирующего устройства с использованием домкрата

1 - полка опорная СМЕ; 2 – планка для упора; 3 – домкрат; 4 – кронштейн устройства для центрирования; 5 – полка судового фундамента

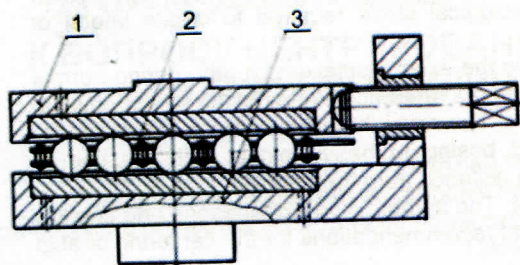


Рисунок 3 - Устройство центрирующее

1 – плита опорная; 2 – сепаратор; 3 – основание

### 1. Физико-математическая модель процесса центрирования

В процессе центрирования в горизонтальной плоскости часто требуется определить на какой отрезок пути  $\Delta l_s$  переместится СМЕ при воздействии на нее тем или иным отжимным устройством. В этом случае, зная величину  $\Delta l_s$ , можно точно прогнозировать в какое положение встанет СМЕ относительно МБП помещения, например диаметральной плоскости (ДП) судна. Однако, из опыта выполнения механомонтажных работ было установлено, что перемещение изделия при воздействии на него определенным усилием является не плавным, а скачкообразным, что не позволяет сместить сборку на установленную расчетную величину. В этой связи совмещение монтажно-базовых плоскостей СМЕ и судового помещения подчас становится длительным по времени и трудозатратным процессом.

Рассмотрим физику процесса перемещения в горизонтальной плоскости изделия при выполнении центрирования последнего относительно базовых плоскостей.

Очевидно, что отрезок пути  $\Delta l_s$  является функционально зависимой величиной от жесткости отжимных устройств, массы тела и коэффициента трения. В дальнейшем будем считать механизм работы отжимного устройства и упора, как работу сжатой пружины.

Пусть на абсолютно жесткое тело массой  $G$  действует постепенно возрастающая сила  $P$ , создаваемая отжимным устройством. При этом само отжимное устройство упруго деформируется подобно сжимаемой пружине.

По достижению максимального своего значения на отжимном устройстве сила  $P_{max}$  становится равной или чуть больше силы сопротивления – силы трения покоя и приводит тело в движение. При этом, после начала движения (почти мгновенно), сила сопротивления становится значительно меньше, т.к. динамический коэффициент трения  $f_d$  меньше трения покоя  $f_n$ . Накопленная сила  $P_{max}$  в упруго деформированном отжимном устройстве заставляет тело пройти определенный отрезок пути  $\Delta l_s$ .

Для решения поставленной задачи напишем уравнение функциональной зависимости силы  $P_1$  от ее перемещения. Зависимость усилия от перемещения для пружины является линейной, тогда в точке  $\Delta l_i$  (текущая координата) переменная сила  $P_1$  будет иметь следующий вид

$$P_1 = P_{max} - C_n \cdot \Delta l_i, \quad (1)$$

где  $P_{max}$  – максимальная сила, при которой начинается перемещение тела, Н;

$C_n$  – линейный коэффициент пропорциональности (жесткости) отжимного устройства, Н/мм.

Принимаем условие, что сила динамического трения является постоянной величиной на всем протяжении перемещения тела (рис. 3).

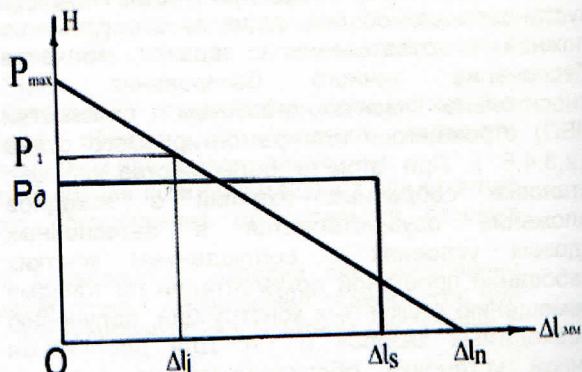


Рисунок 3 – Схема графических зависимостей сил от пути перемещения тела при нерегулируемом центрировании

Определим работу, совершаемую пружиной до остановки тела

$$A_n = \int_0^{\Delta l_i} (P_{max} - C_n \Delta l_i) d \Delta l$$

где  $\Delta l_s$  – координата остановки тела;  $\Delta l_i$  – i-ая упругая деформация отжимного устройства – текущая координата, мм.

При этом работа трения будет составлять

$$A_{P_0} = P_0 \Delta l_s,$$

где  $P_0$  – динамическая сила трения, Н.

Так как произведенная работа по перемещению тела  $A_n$  полностью затрачена на работу трения  $A_{P_0}$ , то приравняв указанные работы, найдем  $\Delta l_s$ .

$$\int_0^{\Delta l_s} (P_{max} - C_n \Delta l_i) d \Delta l = P_0 \Delta l_s$$

$$P_{\max} \Delta l_s - C_n \frac{\Delta l_s^2}{2} = P_{\partial} \Delta l_s$$

$$\Delta l_s = \frac{2(P_{\max} - P_{\partial})}{C_n} \quad (2)$$

Учитывая, что  $P_{\max} = C_n \Delta l_n$ , а  $P_{\partial} = f_{\text{мп}} G$ , то формулу (2) можно представить в следующем виде:

$$\Delta l_s = 2 \left( \Delta l_n - f_{\partial} \frac{G}{C_n} \right) \quad (3)$$

Проведем исследование уравнения функциональной зависимости  $\Delta l_s$  (2) от различных значений  $C_n$ .

Принимаем следующие конкретные данные:

- массу центрируемого объекта – 100 т;
- коэффициент трения покоя –  $f_n = 0,3$ ;
- коэффициент трения в динамике –  $f_{\partial} = 0,18$ ;
- линейный коэффициент пропорциональности (жесткости) отжимного устройства  $C_n$  в диапазоне от  $0,1 \cdot 10^5$  до  $0,6 \cdot 10^5$  Н/мм.

Так как  $P_{\max}$  равна силе трения покоя, то  $P_{\max} = f_n \cdot G = 300 \text{ кН}$ , сила динамического сопротивления будет равна  $P_{\partial} = f_{\partial} \cdot G = 180 \text{ кН}$

Произведем расчет и занесем данные в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета значений нерегулируемого перемещения тела от изменения коэффициента жесткости отжимного устройства

N п/п	$C_n$ , Н/мм	$\Delta l_s$ , мм	$P_{\max}$ , Н	$P_{\partial}$ , Н
1	$0,1 \times 10^5$	24	$3 \times 10^5$	$1,8 \times 10^5$
2	$0,15 \times 10^5$	16	- « -	- « -
3	$0,3 \times 10^5$	8,0	- « -	- « -
4	$0,6 \times 10^5$	4,0	- « -	- « -
5	$0,75 \times 10^5$	3,2	- « -	- « -
6	$1 \times 10^5$	2,4	- « -	- « -
7	$1,5 \times 10^5$	1,6	- « -	- « -

По результатам расчета построим кривую зависимости  $\Delta l_s$  от коэффициента жесткости отжимного устройства  $C_n$  (рис. 4).

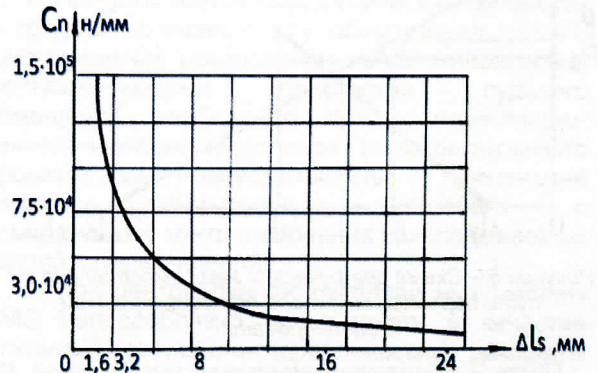


Рисунок 4 – График зависимости перемещения объекта от коэффициента жесткости отжимного устройства.

## 2. Основные рекомендации

Из анализа графика рис. 4 очевидно, что с повышением жесткости отжимного устройства уменьшается свободный путь перемещения тела. Таким образом, при необходимости перемещения тела на величины, исчисляемые в десятых долях мм, необходимо использовать жесткие отжимные устройства. Однако при точном центрировании тяжеловесных агрегатов с массами свыше 100 т потребуются создание громоздких и неудобных в работе технологических отжимных устройств. Кроме того, определение значения общей жесткости устройства выполнить весьма затруднительно. Однако, определить  $C_n$  можно путем решения обратной задачи по формуле (2), осуществляя пробное нагружение отжимного устройства и замеряя пройденный путь  $\Delta l_s$  и силу срагивания СМЕ.

Поэтому для проведения более точного центрирования устанавливают с другой стороны агрегатов ограничительные упоры, позволяющие ограничивать или регулировать свободное перемещение агрегата. В этой связи рассмотрим вторую схему сил воздействия на центрируемое тело, в которой в отличие от первой на тело с противоположной стороны от силы, создаваемой отжимным устройством, действует сила или с самого начала центрирования или в процессе его перемещения.

Графическое изображение зависимостей действующих сил показано на рис.5.

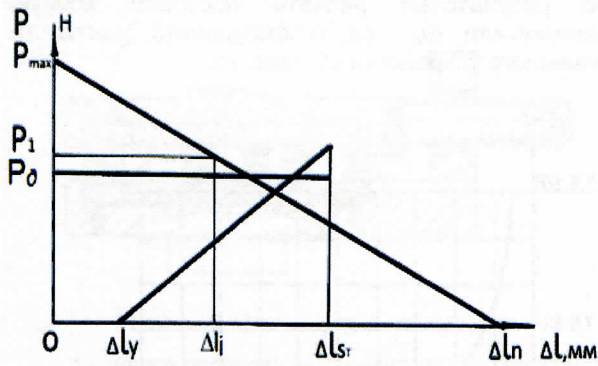


Рисунок 5 – Схема графических зависимостей сил от пути перемещения тела при регулируемом центрировании

Пусть к абсолютно жесткому телу массой  $G$  приложена постепенно возрастающая сила  $P_1$ . С другой стороны тела на определенном расстоянии установлен упор, который имеет коэффициент жесткости  $C_{ny}$ . Известен требуемый путь перемещения тела  $\Delta l_{ST}$ . Необходимо определить расстояние установки упора от центрируемого изделия  $\Delta l_y$ .

Напишем уравнение произведенных работ при перемещении тела.

где  $A_y$  – работа, затраченная на упругое сжатие упора, Н мм.

Подставим в уравнение (4) значения составляющих

$$\int_0^{\Delta l_{ST}} (P_{max} - C_n \Delta l) d \Delta l - P_0 \cdot l_{ST} - \int_{\Delta l_y}^{\Delta l_{ST}} C_{ny} (\Delta l - \Delta l_y) d \Delta l = 0$$

После решения подынтегральных выражений найдем значение  $\Delta l_y$

$$\Delta l_y = \Delta l_{ST} - \sqrt{\frac{2 \Delta l_{ST} (P_{max} - P_0) - \Delta l_{ST}^2 C_n}{C_{ny}}} \quad (5)$$

Подставив значения  $P_{max}$  и  $P_0$ , получим следующее уравнение:

$$\Delta l_y = \Delta l_{ST} - \sqrt{\frac{2 \Delta l_{ST} (C_n l_n - f_0 G) - \Delta l_{ST}^2 C_n}{C_{ny}}} \quad (6)$$

Проведем исследование уравнения (5). Для этого принимаем: предыдущие данные, использованные для исследования уравнения (2), а также для простоты расчетов  $C_n = C_{ny}$ .

Таблица 2

Результаты расчета значений установки упора ( $\Delta l_y$ ) от изменения необходимого перемещения тела ( $\Delta l_{ST}$ ) и коэффициентов жесткости отжимного устройства и упора ( $C_n, C_{ny}$ )

№ п/п	$\Delta l_{ST}$ , мм	$\Delta l_y = f(C_n)$					$P_{max}$ , кН	$P_0$ , кН
		$C_n = C_{ny}$ , Н/мм						
		$1,5 \times 10^5$	$1 \times 10^5$	$0,6 \times 10^5$	$0,3 \times 10^5$	$0,1 \times 10^5$		
1	0,1	-0,287	-0,38	-0,52	-0,79	-1,45	300	180
2	0,2	-0,329	-0,56	-0,67	-1,05	-1,98	- « -	- « -
3	0,3	-0,324	-0,49	-0,75	-1,22	-2,37	- « -	- « -
4	0,4	-0,29	-0,49	-0,8	-1,34	-2,67	- « -	- « -
5	0,5	-0,24	-0,47	-0,82	-1,44	-2,93	- « -	- « -
6	0,6	-0,17	-0,44	-0,83	-1,51	-3,15	- « -	- « -
7	0,7	-0,09	-0,39	-0,82	-1,56	-3,34	- « -	- « -
8	0,8	0	-0,33	-0,8	-1,6	-3,51	- « -	- « -
9	0,9	+0,11	-0,21	-0,77	-1,63	-3,65	- « -	- « -
10	1,0	+0,23	-0,18	-0,73	-1,65	-3,80	- « -	- « -
11	1,4	+0,87	+0,22	-0,51	-1,64	-4,2	- « -	- « -
12	1,5	+1,35	+0,34	-0,44	-1,62	-4,31	- « -	- « -
13	2,0	-	+1,11	0	-1,46	-4,63	- « -	- « -
14	2,5	-	-	+0,56	-1,21	-4,83	- « -	- « -
15	3,0	-	-	+1,26	-0,87	-4,94	- « -	- « -
16	3,5	-	-	+1,75	-0,47	-4,97	- « -	- « -
17	4,0	-	-	+4,0	0	-4,94	- « -	- « -
18	4,5	-	-	-	+0,53	-4,87	- « -	- « -
19	5,0	-	-	-	+1,68	-4,11	- « -	- « -

$$A_n - A_{p_0} - A_y = 0 \quad (4)$$



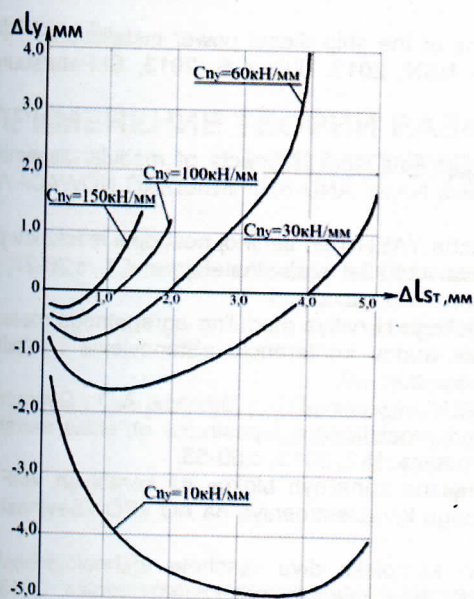


Рисунок 6 – График зависимостей расстояний установки упора  $\Delta L_y$  от значений необходимых величин перемещений и коэффициентов жесткости отжимного устройства и упора

### Заключение

На основании выше изложенного исследования, установленных математических и графических зависимостей можно сделать ряд следующих выводов

1. Обеспечение точного базирования тяжеловесных СМЕ относительно монтажно-

базовых плоскостей судовых помещений является наиболее сложной и ответственной задачей в общем цикле выполнения монтажных операций.

2. При разработке технологических процессов и средств оснащения для обеспечения точного центрирования тяжеловесных СМЕ относительно монтажно-базовых плоскостей судового помещения необходимо при конструкторско-технологической подготовке механомонтажного производства предусматривать применение жестких центрирующих устройств с возможностью контролирования прикладываемых усилий и перемещений.

3. При центрировании тяжеловесных жестких СМЕ целесообразно использовать в качестве отжимных устройств-гидравлические домкраты (см. рис.2) с обеспечением установки ограничительных упоров с противоположной стороны изделия на расчетном расстоянии.

4. Согласно полученному выражению (3) для обеспечения перемещения СМЕ на величины, исчисляемые в десятых долях мм, необходимо использовать жесткие отжимные устройства.

5. Для получения малых (десятые доли миллиметра) контролируемых перемещений СМЕ при обеспечении их точного центрирования, следует осуществлять установку технологических упоров вплотную к конструкции СМЕ с предварительной их упругой деформацией на расчетные значения, определяемые по формулам (5) и (6).

### Литература

1. N.I. Gerasimov, I.V. Grachev, D.N. Kanaev. Further advancements and prospects of modular-assembly installation method for nuclear power plants. 9<sup>th</sup> International Conference NAVY AND SHIPBUILDING NOWADAYS, NSN'2017. June 29-30, 2017, St.Petersburg, Russia, s.255-258.
2. Герасимов Н.И., Грачев И.В. Особенности технологии монтажа ЯЭУ при серийной постройке ледоколов пр. 22220. Труды Российского НТО судостроителей имени ак. А.Н. Крылова «150 лет судостроителей...», т.1, с.20-27, г. Санкт-Петербург, 2016 г.
3. Герасимов Н.И., Грачев И.В. Основные направления дальнейшего развития модульно-агрегатного метода монтажа ЭУ при постройке атомных подводных лодок // Сборник трудов конференции: «Становление и развитие атомного подводного кораблестроения на АО «ПО «Севмаш», 2016г., с.91-96.
4. Герасимов Н.И., Грачев И.В., Долматов М.А., Канаев Д.Н., Лямин П.Л., Михайлов А.О. Основные направления дальнейшего развития модульно-агрегатного метода при проектировании и постройке объектов морской техники // Научно-технический и производственный журнал «Судостроение». №3, 2013г., с.50-53.
5. Калеминцев И.В. Применение полимерных материалов при монтаже зональных блоков на кораблях ВМФ // Сборник трудов конференции: «Становление и развитие атомного подводного кораблестроения на АО «ПО «Севмаш». 2016г., с.147-148.
6. Морозов К.Н., Усманов Д.В. Современный программный комплекс для расчета технологических параметров центровки валопроводов // Научно-технический и производственный журнал «Судостроение». 2013г., с.61-65.
7. Герасимов Н.И., Греков А.П., Канаев Д.Н. Исследование процесса перемещений при центрировании СМЕ в помещениях судов // Научно-производственный сборник «Вестник технологии судостроения и судоремонта». №5, 1999г., с.77-79.
8. Герасимов Н.И. Технология монтажа судового энергетического оборудования // Издательство «Судостроение». ОАО «ЦТСС», 2014г., 622 с.
9. Герасимов Н.И. Особенности технологии выгрузки и погрузки крупногабаритного оборудования при ремонте и модернизации объектов морской техники // Сборник докладов на научно-практической конференции. 18-22 мая 2013г., г. Анапа, с.49-53.

10. Minasyan M.A., Minasyan A.M. Elastic basic communications of the ship diesel power installations. 7<sup>th</sup> International Conference NAVY AND SHIPBUILDING NOWADAYS NSN' 2013. July 4-5, 2013, St.Petersburg, Russia, s.143-149.

#### References

1. N.I Gerasimov, I.V. Grachev, D.N. Kanaev. Further advancements and prospects of modular-assembly installation method for nuclear power plants. 9<sup>th</sup> International Conference NAVY AND SHIPBUILDING NOWADAYS, NSN'2017. June 29-30, 2017, St.Petersburg, Russia, s.255-258.
2. Gerasimov N.I., Grachev I.V. Osobennosti tekhnologii montazha YAEHU pri serijnoj postrojke ledokolov pr. 22220. Trudy Rossijskogo NTO sudostroitelej imeni ak. A.N. Krylova «150 let sudostroitelej...», t.1, s.20-27, c. St.Petersburg, 2016.
3. Gerasimov N.I., Grachev I.V. Osnovnye napravleniya dal'nejshego razvitiya modul'no-agregatnogo metoda montazha EHU pri postrojke atomnyh podvodnyh lodok // Sbornik trudov konferencii: «Stanovlenie i razvitie atomnogo podvodnogo korablestroeniya na AO «PO «Sevmash», 2016g., s.91-96.
4. Gerasimov N.I., Grachev I.V., Dolmatov M.A., Kanaev D.N., Lyamin P.L., Mihajlov A.O. Osnovnye napravleniya dal'nejshego razvitiya modul'no-agregatnogo metoda pri proektirovanii i postrojke ob'ektov morskoy tekhniki // Nauchno-tekhnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Sudostroenie». №3, 2013, c.50-53.
5. Kalemincev I.V. Primenenie polimernyh materialov pri montazhe zonal'nyh blokov na korablyah VMF // Sbornik trudov konferencii: «Stanovlenie i razvitie atomnogo podvodnogo korablestroeniya na AO «PO «Sevmash». 2016, s.147-148.
6. Morozov K.N., Usmanov D.V. Sovremennyy programmnyj kompleks dlya rascheta tekhnologicheskikh parametrov centrovki valoprovodov // Nauchno-tekhnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Sudostroenie». 2013g., s.61-65.
7. Gerasimov N.I., Grekov A.P., Kanaev D.N. Issledovanie processa peremeshchenij pri centrirovanii SME v pomeshcheniyah sudov // Nauchno-proizvodstvennyj sbornik «Vestnik tekhnologii sudostroeniya i sudoremonta». №5, 1999g., s.77-79.
8. Gerasimov N.I. Tekhnologiya montazha sudovogo ehnergeticheskogo oborudovaniya // Izdatel'stvo «Sudostroenie». OAO «CTSS», 2014g., 622 s.
9. Gerasimov N.I. Osobennosti tekhnologii vygruzki i pogruzki krupnogabaritnogo oborudovaniya pri remonte i modernizacii ob'ektov morskoy tekhniki // Sbornik dokladov na nauchno-prakticheskoy konferencii. 18-22 maya 2013g, c. Anapa, s.49-53.
10. Minasyan M.A., Minasyan A.M. Elastic basic communications of the ship diesel power installations. 7<sup>th</sup> International Conference NAVY AND SHIPBUILDING NOWADAYS NSN' 2013. July 4-5, 2013, St.Petersburg, Russia, s.143-149.