

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

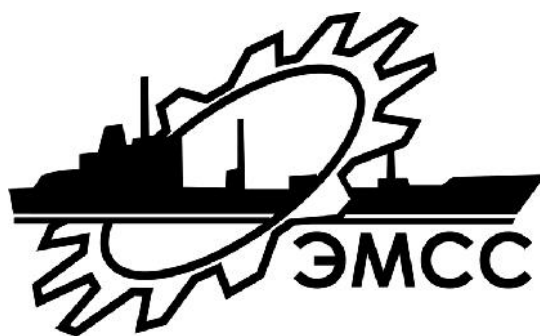
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт кораблестроения и морского транспорта

В.А. Очеретяный

СУДОВОЙ ГРУЗОВОЙ КРАН. УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ. РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАНА

Методические указания
к выполнению практического занятия



Севастополь
СевГУ
2016

УДК 629.5.065.23(076)

ББК 39.459я73

0-95

Рецензент:

Е.В. Хромов - к.т.н., доцент каф. ЭМСС

Очеретяный В.А.

0-95 Судовой грузовой кран. Устройство и эксплуатация. Расчет энергетических характеристик крана / В.А. Очеретяный. – Севастополь: СевГУ, 2015. – 24 с.: ил.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам при знакомстве с конструкцией и работой главного судового грузового крана при изучении дисциплины «Судовые вспомогательные механизмы, системы и устройства» Модуль 2.

Рассматриваются устройство и эксплуатация судовых грузовых кранов различных типов. Выполнен анализ механизмов современного судового грузового крана: механизма подъема груза, механизма изменения вылета стрелы, механизма поворота крана.

Предложена последовательность действий при оценке энергетических характеристик крана.

Методическое указание предназначено для студентов очной и заочной форм обучения Севастопольского государственного университета, института кораблестроения и морского транспорта, направления подготовки 26.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок».

Выполнение практического занятия направлено на изучение следующих профессионально-специализированных компетенций (Конвенция ПДНВ):

ПСК-6 – Основные принципы конструкции и работы механических систем, включая: .10 палубные механизмы; ПСКУ-20 – Проектные характеристики и системная конфигурация аппаратуры автоматического контроля и предохранительных устройств для следующего: Характеристики оборудования гидравлического и пневматического управления

УДК 629.5.065.23(076)

ББК 39.459я73

Рассмотрено и рекомендовано на заседании кафедры энергоустановок морских судов и сооружений Института кораблестроения и морского транспорта Севастопольского госуниверситета в качестве методических указаний к выполнению практического занятия для студентов направления 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок. Протокол заседания кафедры № 1 от 27.08.2015 г.

© Очеретяный В.А. 2016

© ФГАОУВО «Севастопольский
государственный университет», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Цель практического занятия	3
1	Введение	3
2	Устройство судового главного грузового крана	5
3	Обслуживание судового грузового крана	14
4	Определение энергетических характеристик судового грузового крана	14
5	Пример расчета энергетических характеристик судового грузового крана	17
6	Порядок выполнения работы	19
7	Требования к отчету	21
8	Вопросы к практическому занятию	22
	Литература	23

ЦЕЛЬ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Цель практического занятия:

- ознакомление с широко применяемыми на морских транспортных судах грузовыми кранами с гидравлическим приводом. [1–3].
- изучение конструкции современного судового грузового крана;
- изучение основ обслуживания судового крана
- выполнение энергетического расчета судового грузового крана.

1. ВВЕДЕНИЕ

Судовые грузовые краны находят широкое применение на современных транспортных судах (рис. 1). Грузовые палубные краны, используемые для комплектации судовых грузоподъемных устройств вертикальной погрузки составляют широкий и разнообразный типоразмерный ряд. Основные технические характеристики кранов: номинальная грузоподъемность (SWL), вылет стрелы, грузовой момент, угол поворота крана, скорость подъема номинального груза, скорость изменения вылета стрелы, скорость поворота, суммарная установленная мощность приводов, масса.

По назначению и грузоподъемности краны можно разделить на три группы: краны МКО, SWL = 1 – 5 т; провизионные краны, SWL = 0,5 – 3,0 т; специальные краны (промысловых судов, танкеров, для обслуживания люковых закрытий и т.п.), SWL = 1,0 – 10,0 т; главные грузовые краны (главные), SWL = 10 – 750 т.

SWL типового судового грузового крана для обработки генеральных грузов 30 – 40 т (в т.ч. стандартный морской 20 футовый контейнер (20' Dry Freight Container) габаритами 6058x2438x2591 максимальным брутто

24000 кг и 40 футовый морской контейнер (40' Dry Freight Container) габаритами 12192x2438x2591 максимальным брутто 30480 кг). Вылет современных главных грузовых кранов находится в интервале 12,0 – 32,0 м и более. Скорость подъема груза на интервале SWL от 10 до 250 т в среднем от 30 м/мин до 5 м/мин; скорость изменения вылета стрелы 40 – 80 с; частота вращения крана 0,5 – 1,0 мин⁻¹.

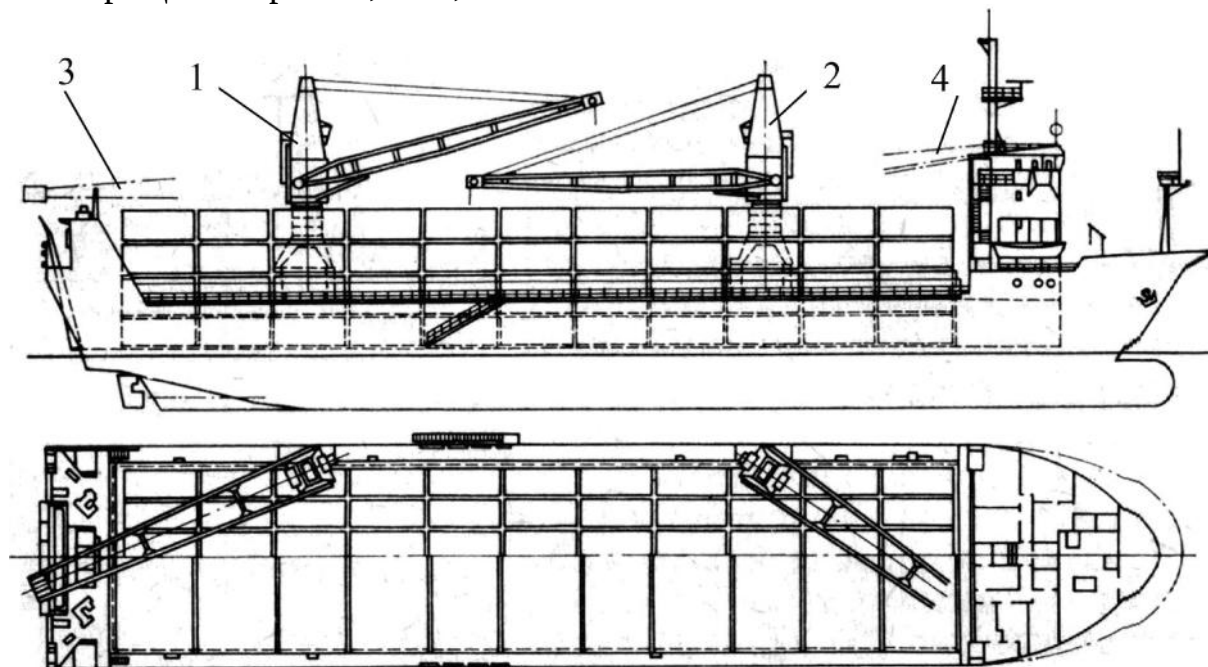


Рис. 1. Судно-контейнеровоз, оборудованное
полноповоротными электрогидравлическими кранами
1, 2 – главные грузовые краны; 3, 4 – положение грузовых кранов по-походному

В настоящее время с ростом грузоподъемности все главные судовые грузовые краны в своей конструкции применяют полиспаст в механизме подъема вместо одиночного шкентеля грузового гака (рис. 2).

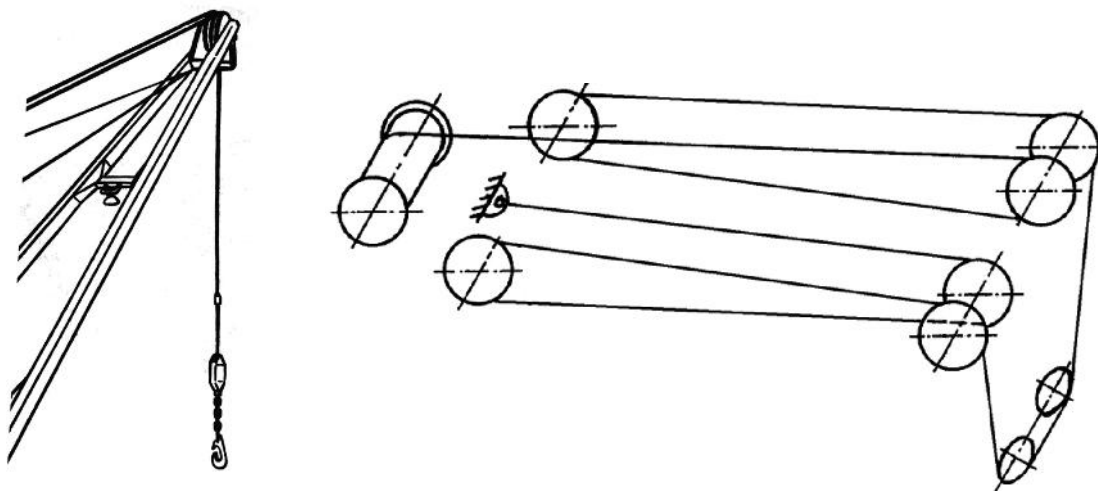


Рис. 2. Схемы навески шкентеля
а) – стрела с одиночным шкентелем б) стрела с полиспастом

Применение многократного полиспаста в механизмах кранов позволяет повысить скорость вращения навивного барабана лебедки и упростить редуктор. При той же грузоподъемности имеется возможность использовать канаты меньшего диаметра, снизить диаметры блоков и барабана лебедок. Существенное упрощение крана в механизме изменения вылета стрелы достигается благодаря замене топенанта гидроцилиндрами. При этом исключается бегучий такелаж и топенантная лебедка. Введение в состав крана насосного агрегата для питания гидроцилиндров механизма изменения вылета стрелы компенсируется существенным упрощением кинематической и силовой схем крана. Снижается высота башни крана, решается проблема предотвращения опрокидывания стрелы. Для обеспечения требования, ограничивающего отклонение от горизонтали при перемещении груза в диапазоне $\pm 3,5\%$ от диапазона вылета применяется специальная запасовка шкентеля и определенное размещение их верхних блоков на корпусе крана (рис. 2, б). Механизм поворота кранов основывается на применении комбинированной шаровой или роликовой опоры, на одном из колец которой нарезаны зубья, входящие в зацепление с ведущей шестерней механизма поворота.

Для увеличения вылета стрелы применяется установка главных кранов не вдоль диаметральной плоскости судна, а вдоль борта. Это позволило также существенно увеличить объем грузового пространства для размещения дополнительного груза.

Среди представителей судового кранового оборудования наиболее известны краны следующих компаний: ЗАО "Центральный научно-исследовательский институт судового машиностроения", SWL=2–100 т (<http://www.sudmash.ru/>), Россия; "MacGregor", SWL= 5–1000 т (<http://www.macgregor-group.com/>), Швеция; "Liebherr Ship Crane", SWL=5–450 т (<http://www.liebherr.com/>), Германия; "NMF", SWL = 20 – 600 т; (<http://www.nmf-crane.de/>), Германия; "LMG", SWL=5–250 т (<http://www.liebherr.com/>), Германия.

2. УСТРОЙСТВО СУДОВОГО ГРУЗОВОГО КРАНА

Рассмотрим конструкцию судового грузового крана фирмы LMG Lubecker Maschinenbau Gesellschaft mbH типа HS 35/30 t – 27/29,5 m. (рис. 3) [5, 6]. Электро-гидравлический кран предназначен для работы с контейнерами и генеральными грузами. Он может быть дооснащен, в случае необходимости, спредером, грейфером и т.п.

Грузоподъемность крана 35 т при вылете стрелы 27 м и 30 т – при вылете 29,5 м. Диапазон температуры окружающей среды, при которой допускается работа – от -25°C до $+45^{\circ}\text{C}$.

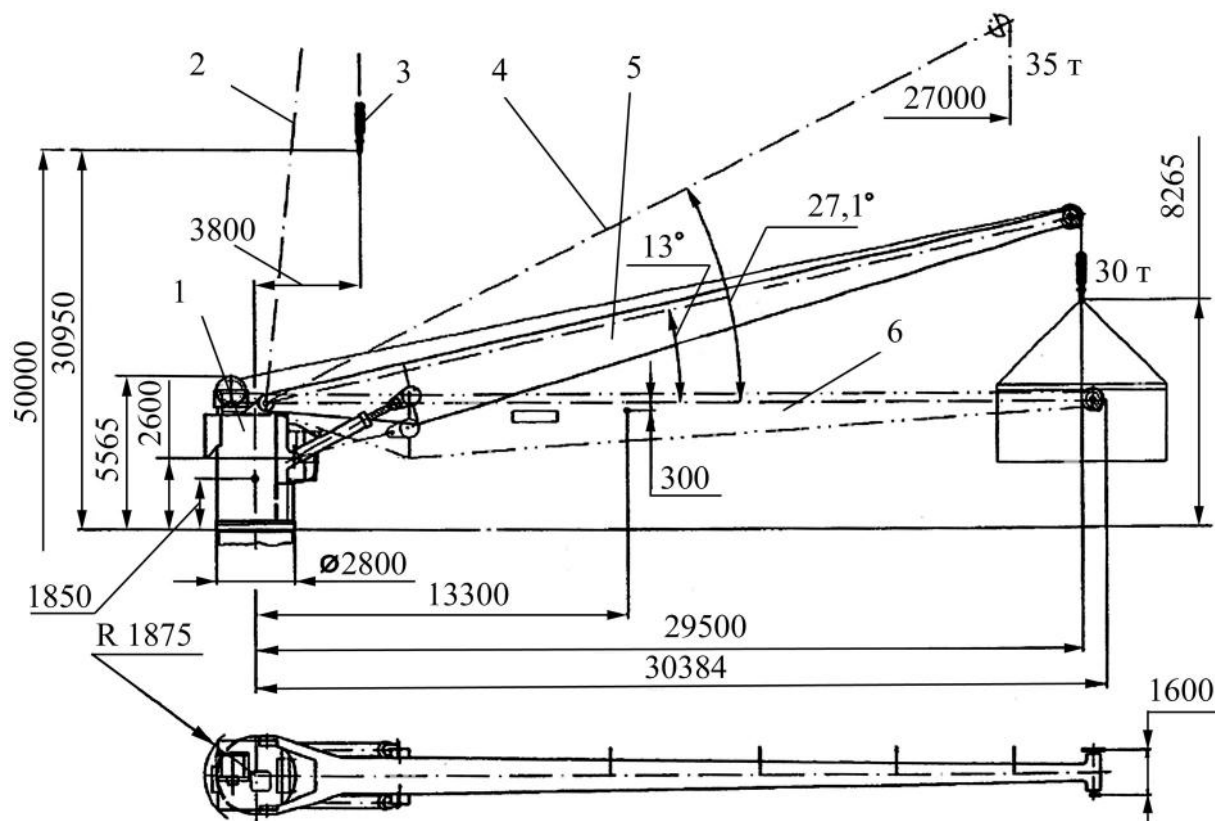


Рис. 3. Габариты крана HS 35/30 t – 27/29,5

1 – башня крана; 2 – положение стрелы (осевой линии) в вертикальном положении (в положении строповки крюковой подвески); 3 – крюковая подвеска; 4 – крайнее положение стрелы, обеспечивающее SWL = 35 т; 5 – стрела в крайнем положении, обеспечивающем SWL = 30 т; 6 – положение стрелы в горизонтальном положении (походному)

Минимальный вылет стрелы 3,8 м, максимальный вылет стрелы под нагрузкой 29,5 м. Максимальная высота подъема груза – 50 м. Частота вращения крана $0,8 \text{ мин}^{-1}$. Скорость подъема груза: при номинальной нагрузке 21 м/мин; при порожнем гаке 40 м/мин. Время изменения вылета стрелы из минимального в максимальное – 72 с. Допустимый дифферент – 5° ; допустимый крен – 2° . Высота поворотной башни крана 1,85 М; диаметр башни – 2,8 м. Масса укомплектованной поворотной башни крана – 27775 кг, масса стрелы в сборе – 22800 кг, масса гидроцилиндров 2х2800 кг, масса шкентеля 784 кг, масса крюковой подвески 1500 кг, масса крана в сборе – 59570 кг.

Принципиальная схема энергетической установки (ЭУ) крана представлена на рис. 4. Установка крана содержит основные узлы: насосную станцию А (рис. 4), механизм поворота крана Б; механизм подъема груза В и механизм изменения вылета стрелы Г.

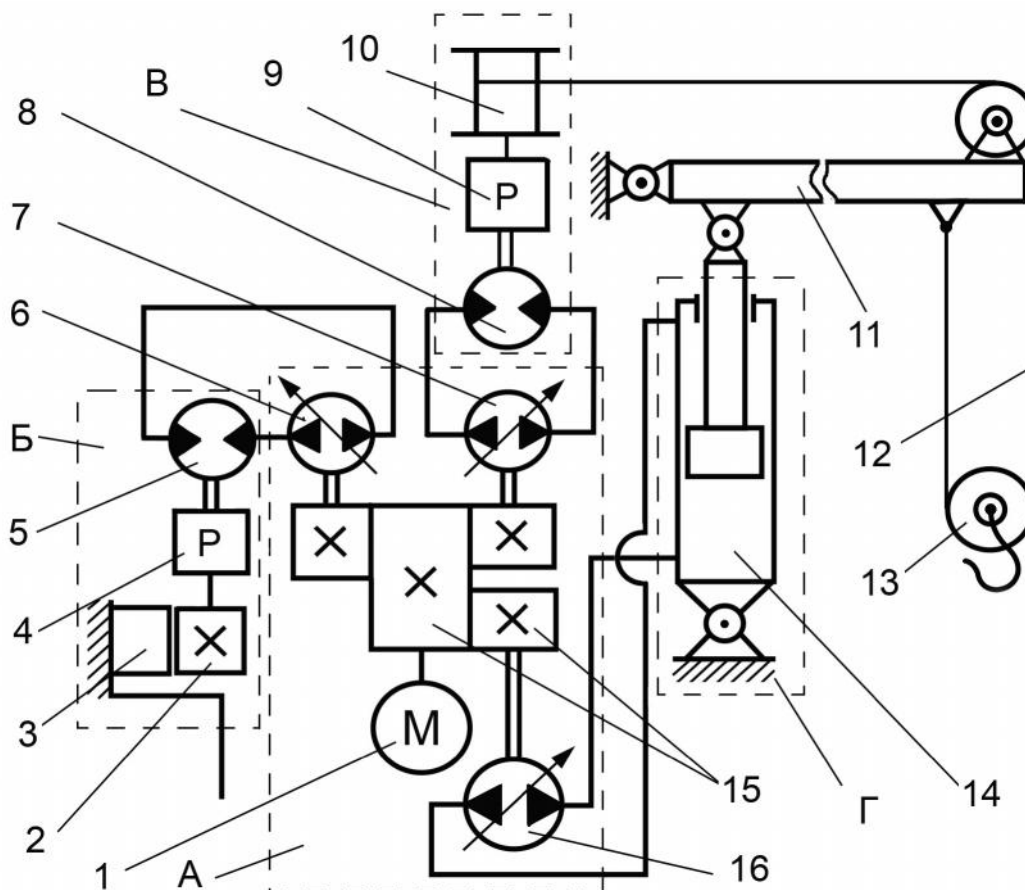


Рис. 4. Энергетическая установка крана

1 – главный электродвигатель; 2, 3, 15 – зубчатые колеса; 4, 9 – редуктор; 5, 8 – гидромоторы; 6, 7, 16 – насосы; 10 – грузовой барабан; 11 – стрела; 12 – шкентель; 13 – крюковая подвеска; 14 – гидроцилиндр
 А – насосная станция; Б – механизм поворота крана; В – механизм поворота груза; Г – механизм изменения вылета стрелы

Насосная станция имеет один главный электродвигатель 1, на валу которого установлена раздаточная шестерня. Эта шестерня передает вращение трем ведомым зубчатым колесам, установленным на валах насосов 6, 7 и 16. Зубчатый механизм насосной станции образует мультипликатор. Насос 6 приводит в действие механизм поворота крана; насос 7 – механизм подъема груза; насос 16 – механизм изменения вылета стрелы.

На рис. 5 представлено расположение механизмов ЭУ крана в башне.

Башня крана поворотная, оснащена механизмом поворота, насосной станцией и кабиной. В верхней части башни расположен механизм подъема (рис. 5). Кабина крана оснащена эргономичным сидением, тепловентилятором, широкоэкранным операционным монитором, широкоугольным окном, люком в днищевой части кабины (люк имеет возможность открываться в обе стороны, кабина закреплена на башне крана посредством упругих амортизаторов).

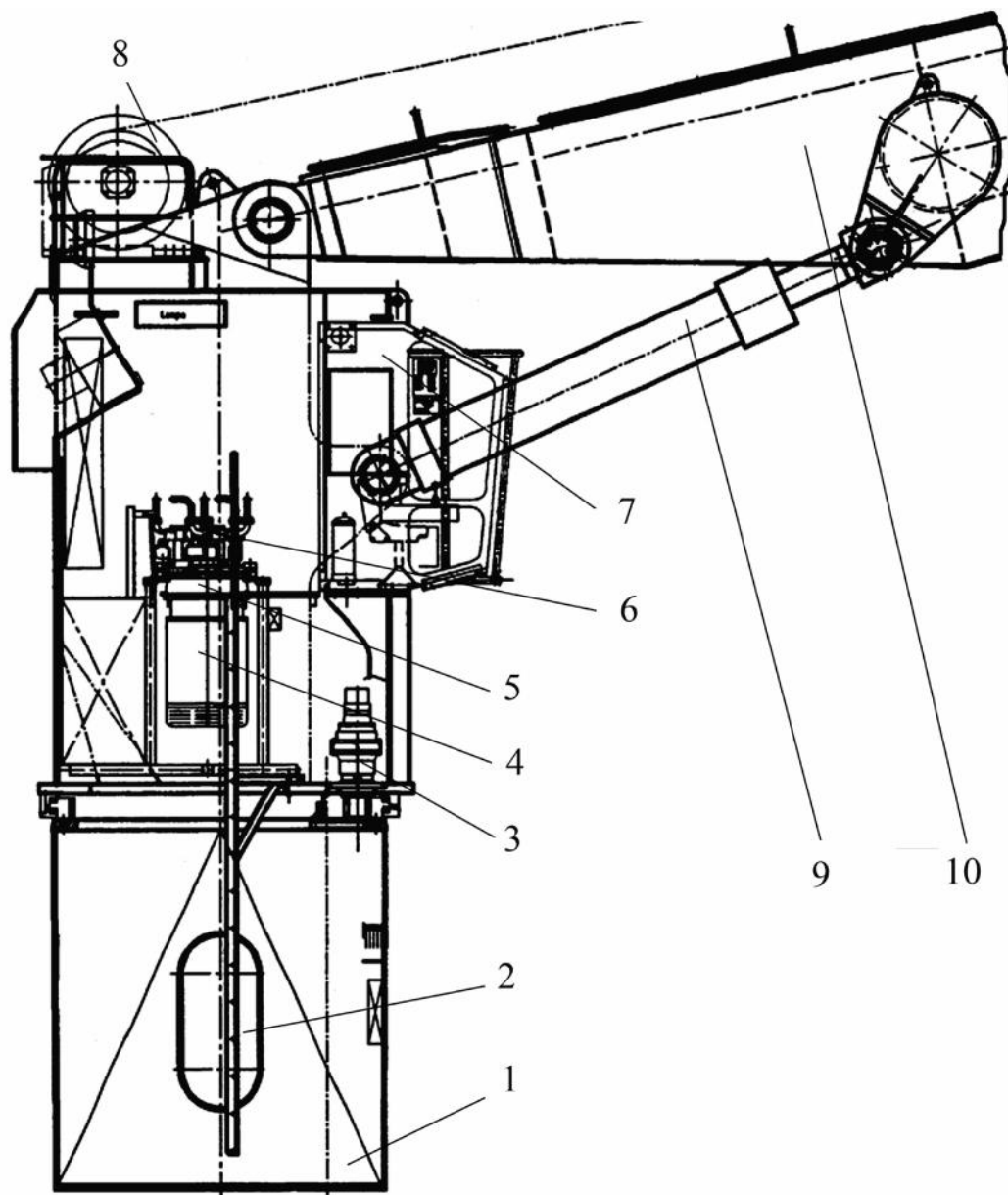


Рис. 5. Расположение механизмов крана

1 – колонна; 2 – вход; 3 – механизм поворота крана; 4 – приводной электродвигатель; 5 – трехпоточный редуктор; 6 – насосы механизмов крана; 7 – кабина; 8 – механизм подъема груза; 9 – гидроцилиндр; 10 – стрела

Стрела, коробчатой клинообразной формы, установлена на цапфы на подшипниках скольжения может поворачиваться в вертикальной плоскости, изменяя вылет. На ноке стрелы установлены блоки полиспаста.

Характеристики энергетической установки крана: электродвигатель мощностью 160 кВт с частотой вращения 1775 мин^{-1} ; приводит в действие через трехпоточный мультипликатор с передаточным отношением 0,65 насосы. Насосы преобразуют энергию потока в механическую энергию в

гидромоторах и гидроцилиндрах, реализуя замкнутую систему циркуляции рабочей жидкости.

Механизм подъема груза включает барабан с двухслойной намоткой каната, встроенный планетарный редуктор, дисковый нормально-замкнутый тормоз и гидравлический привод (рис. 6). Крутящий момент на грузовом барабане $80040 \text{ Н}\cdot\text{м}$; крутящий момент вала гидромотора $695/348 \text{ Н}\cdot\text{м}$; скорость троса $44/88 \text{ м/с}$; частота вращения грузового барабана $17,2/34,4 \text{ мин}^{-1}$; частота вращения вала гидромотора $1530/3950 \text{ мин}^{-1}$; передаточное число редуктора $116,18$. Длина шкентеля 103 м . Давление рабочей жидкости на гидротормозе $1,8...2,4 \text{ МПа}$; рабочее давление на гидромоторе $31,5 \text{ МПа}$. Динамический тормозной момент $1450 \text{ Н}\cdot\text{м}$; статический тормозной момент $1750 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Рабочая жидкость – масло Mobilgear HP222, VG 220.

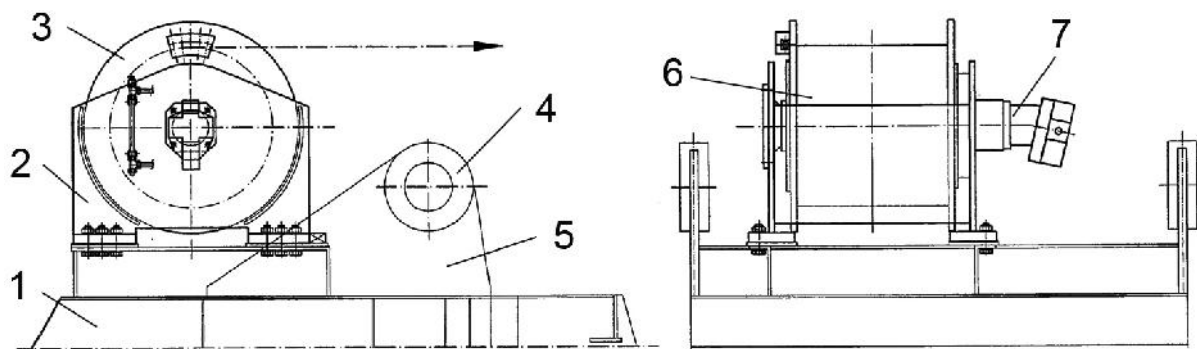


Рис. 6. Схема механизма подъема груза

1 – башня крана; 2 – рама лебедки; 3 – реборда барабана; 4 – обух опор стрелы; 5 – кницы; 6 – обечайка барабана; 7 – гидромотор

Устройство лебедки представлено на рис. 7. Вращающий момент с выходного вала 6 гидромотора 7 через промежуточный вал 9 подается на трехступенчатый планетарный редуктор 10. Левая опора барабана 2 служит осью для вращающегося относительно нее редуктора 10. Корпус редуктора закреплен винтами на силовом кольце, приваренном на внутренней стороне обечайки 5 грузового барабана. Грузовая лебедка содержит навивной барабан длиной канатной части 760 мм ; диаметром (до осевой каната первого слоя) 800 мм . Во внутренней полости барабана установлен трехступенчатый планетарный редуктор передаточным отношением 110 . Скорость навивки каната $44/88 \text{ м/мин}$. Навивка шкентеля на барабан – двухслойная. Диаметр шкентеля 32 мм , длина 145 м , предел прочности каната – 1770 МПа , рабочие нагрузки $186,4 \text{ кН}$, минимальная разрывная нагрузка – $849,7 \text{ кН}$. Привод – гидравлический. Гидродвигатель типа A6VM160EP2D/63W1.

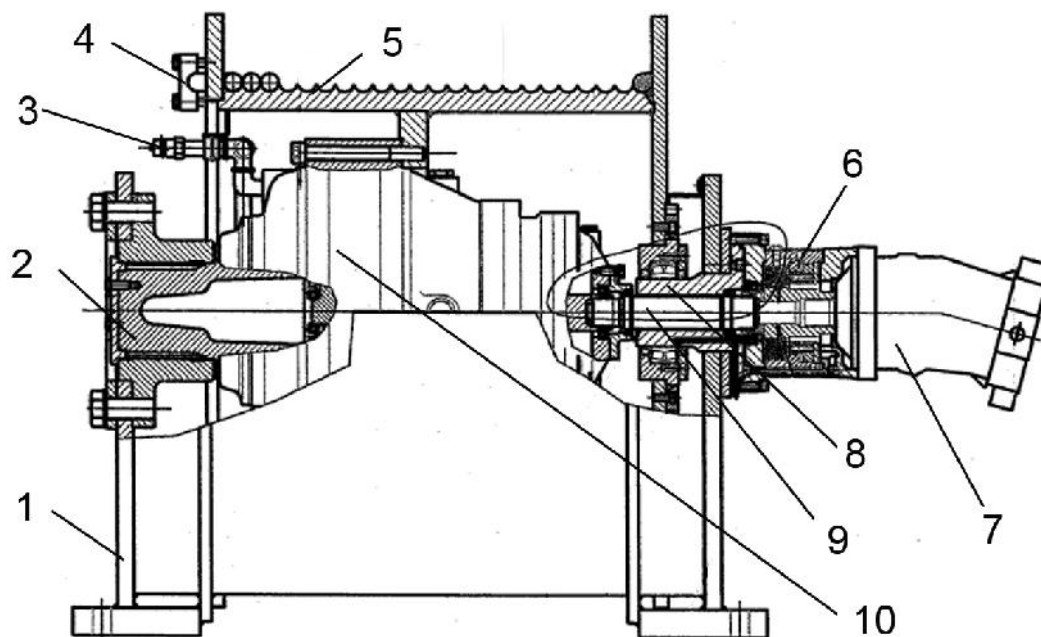


Рис. 7. Устройство грузовой лебедки

1 – фундаментная рама; 2 – левая ступица барабана; 3 – штуцер для заливки масла в редуктор; 4 – крепление каната на реборде; 5 – обечайка барабана; 6 – выходной вал гидротормоза; 7 – гидромотор; 8 – правая ступица барабана; 9 – промежуточный вал; 10 – редуктор

На рис. 8 представлена силовая связь между гидромотором и ведущим валом редуктора механизма подъема груза. Неподвижная ступица 10 закреплена на фундаментной раме 9. На правой стороне ступицы закреплен фланец 11 гидромотора. Левая часть ступицы 10 служит опорой для реборды барабана 6. Опора представляет собой установленный в корпусе подшипник 7, защищенный уплотнениями. Гидромотор на выходе включает дисковый нормально-замкнутый тормоз с гидравлическим приводом.

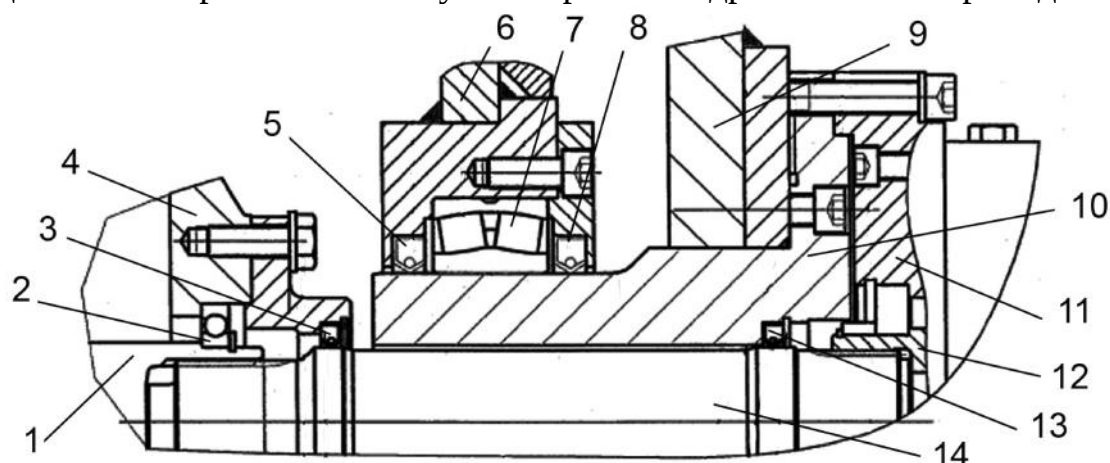


Рис. 8. Узел передачи крутящего момента от гидромотора к барабану

1 – входной вал редуктора; 2, 7 – подшипники; 3, 5, 8, 13 – уплотнения; 4 – крышка редуктора; 6 – реборда барабана; 9 – фундаментная рама; 10 – ступица; 11 – фланец гидромотора; 12 – выходной вал гидротормоза; 14 – промежуточный вал

Промежуточный валик 14 правой шлицевой частью установлен в выходную шлицевую втулку 12 гидротормоза.левой шлицевой частью промежуточный валик введен в ведущий вал 1 планетарного редуктора. Промежуточный валик оснащен уплотнениями 3 и 13.

Кран содержит три механизма поворота крана (рис. 9). Каждый механизм поворота крана представляет собой гидроприводной планетарный редуктор с мощной выходной шестерней ($z = 10$). Гидромотор на выходе включает дисковый нормально-замкнутый тормоз с гидравлическим приводом.

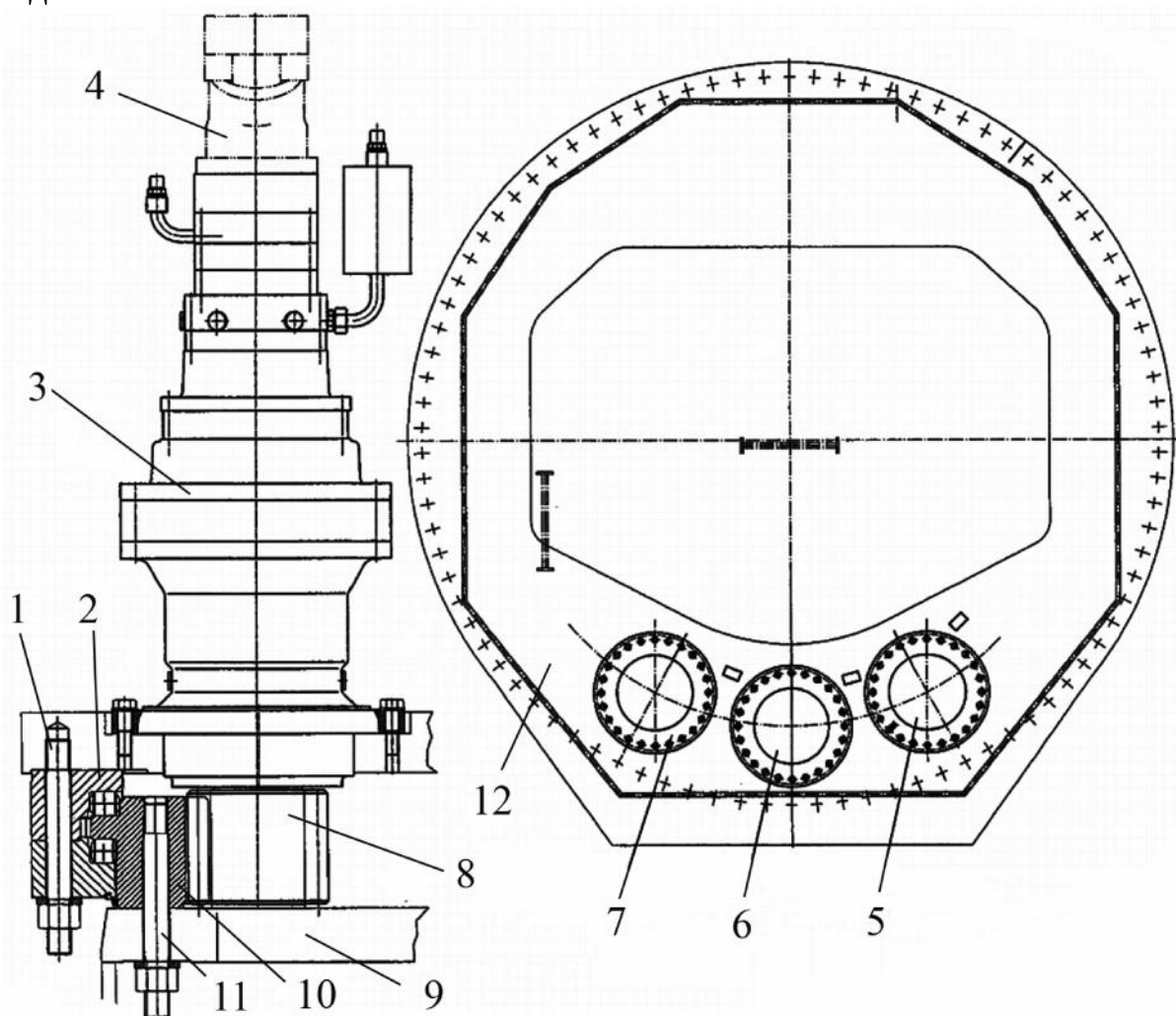


Рис. 9. Механизм поворота крана

1, 11 – шпильки; 2 – упорный подшипник; 3 – редуктор; 4 – гидромотор; 5, 6, 7 – механизмы поворота крана; 8 – ведущая шестерня; 9 – платформа баллера крана; 10 – ведомая шестерня; 12 – платформа башни

На зубчатом венце шестерни поворота крана нарезано 143 зуба модулем 16 мм. Частота вращения ведущей шестерни механизма поворота крана $12,5 \text{ мин}^{-1}$, передаточное число механизма поворота крана 127, 41. Модуль зубьев – 16, ширина зубчатого венца – 170 мм. Гидродвигатель типа A2FM 63/61 W – PABO2.

На рис. 10 представлено устройство дискового тормоза с гидравлическим управлением, на рис. 11 – промежуточный валик. Внешний диаметр дисков 2 образуют с внутренней поверхностью корпуса 5 шлицевую поверхность, а внутренний диаметр дисков 1 образуют с наружной поверхностью 4 (рис. 11) промежуточного вала также шлицевое соединение. При отсутствии давления масла, подаваемого через штуцер 6, ослабленные пружины сжатия 8 прижимают поршень 10 к дискам 1 и 2. Между дисками возникает сила трения, которая зависит от площади контакта и количества дисков. При подаче масла под давлением через штуцер 6 в кольцевой зазор между уплотнениями 7 и 9 поршень перемещается вправо, что снимает сцепление между дисками.

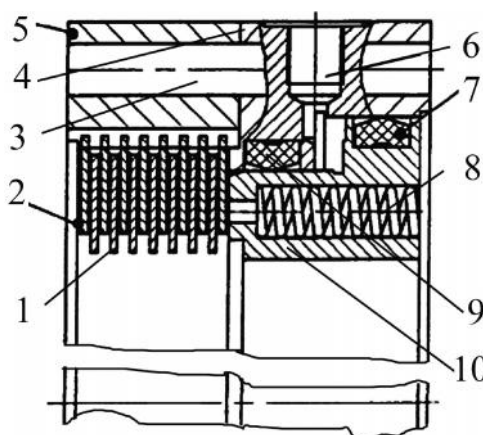


Рис. 10. Устройство дискового тормоза
1, 2 – тормозные диски; 3 – крепежное отверстие; 4 – поршневая втулка; 5 – корпус; 6 – штуцер; 7, 9 – уплотнения; 8 – пружина; 10 – поршень

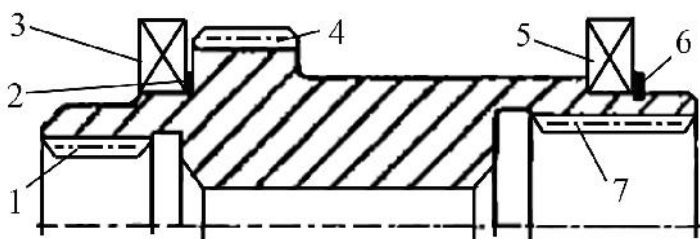


Рис. 11. Промежуточный валик
1, 4, 7 – шлицы; 2 – установочная шайба; 3, 5 – подшипники; 6 – пружинная шайба

Промежуточный валик (рис. 11) соединяет выходной вал гидромотора и ведущий вал редуктора, а шлицевая поверхность 4 входит в зацепление с дисками 1 (рис. 10). Вал установлен на подшипниках 3 и 5, расположенных в крышках гидротормоза.

Гидроцилиндры механизма вылета стрелы имеют внутренний диаметр 350 мм, диаметр штока – 210 мм, ход штока 2700 мм, длина гидроцилиндра – 3800 мм. Скорость выдвижения штока 0,05 м/мин. Давление рабочей жидкости – 40,0 МПа.

Кран оснащен механизмами останова в предельных состояниях. Механизм подъема груза оснащен остановами по максимальному и минимальному положению гака, по максимальной грузоподъемности. Механизм изменения вылета стрелы оснащен остановами по максимальному и минимальному углу поворота стрелы. Механизм поворота крана оснащен остановом по предельному углу поворота.

На рис. 12 представлен пуль управления крана. При старте все тумблеры должны быть поставлены в нулевое положение. Поворотом ключа 11 дается разрешение на включение крана. При старте крана нажатием кнопки 5 включается электродвигатель энергоустановки крана. Через 15 с кран готов к работе, о чем указывает включение зеленой лампы 3. Поворотным тумблером 15 включается освещение кабины. Перед началом работы нажатием кнопки 6 может быть дан звуковой сигнал для рабочего персонала, случайно находящегося в опасной зоне.

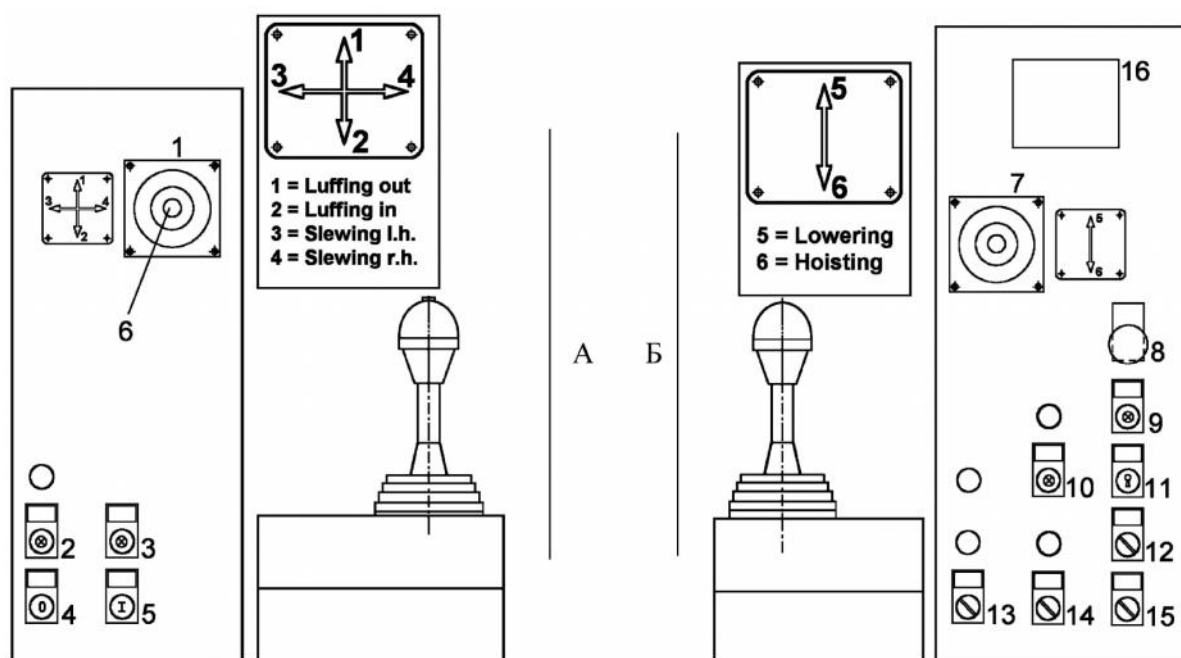


Рис. 12. Пульт управления краном HS 35/30 t – 27/29,5

1 – манипулятор управления механизмами поворота крана и изменения вылета стрелы; 2 – сигнальная лампочка аварийной ситуации (красная); 3 – сигнальная лампочка нормальных рабочих условий (зеленая); 4 – кнопки останова (красная); 5 – кнопка пуска (зеленая); 6 – кнопка гудка; 7 – манипулятор управления подъемом (спуском) груза; 8 – кнопка аварийной остановки; 9 – сигнальная лампочка перегрузки (красная); 10 – сигнальная лампочка максимальной допустимой нагрузки (желтая); 11 – ключ-кнопка управления; 12 – тумблер включения стеклоочистителя; 13 – тумблер включения аварийного освещения (красного); 14 – тумблер включения рабочего освещения; 15 – тумблер включения освещения кабины; 16 – экран монитора

В случае ненормальной работы крана прекращение работы крана может быть осуществлено нажатием кнопки аварийного останова 8. Управление механизмами крана (в т.ч. направлением и скоростью перемещений) осуществляется манипуляторами 1 и 7. При достижении стрелой крайних положений управление последней в опасных направлениях прекращается. При этом на панели загорается желтая лампочка (10). При достижении крюковой подвески крайних положений управление в опасных направлениях прекращается. Для остановки крановых механизмов

нажать кнопку 4. По окончании работы механизмы отключатся при достижении температуры рабочей жидкости в маслоохладителе, бустерном насосе или в кабине менее 50°C.

3. ОБСЛУЖИВАНИЕ СУДОВОГО ГРУЗОВОГО КРАНА

Механизм подъема груза. Объем заливаемого трансмиссионного масла 12,5 л (Gear Oil C-LP220 или Mobilgear 630, Shell Omala 220); первая смена масла после 200 часов работы, дальнейшая смена после 1500 часов работы, но не реже одного раза в год. Перед каждой сменой масла производить чистку механизма горячим маслом температурой около 80 °C.

Механизм поворота крана. Объем заливаемого трансмиссионного масла 3 редуктора по 13 л (Gear Oil C-LP220 - Mobilgear 630 (Mobil), Shell Omala 220 (Shell)); первая смена масла после 150 часов работы, дальнейшая смена после 1500 часов работы, но не реже одного раза в год. Перед каждой сменой масла производить чистку механизма горячим маслом температурой около 80 °C.

Объем масла для одного гидравлического тормоза – один литр. Масло - соответствующее гидродвигателю: гидравлическое масло VG 46 (Hydraulic oil VG 46 Quality - DTE 15 (Mobil), Tellus Oel T46(Shell)).

Ежемесячно подшипники скольжения опор стрелы (4 точки); гидроцилиндров (4 точки); механизм поворота (20 точек), полиспасть крюковой подвески (4 точки) смазываются через нипелля прессмасленками многоцелевой смазкой (Multi-purpose grease K-L2K - Mobilux 2 (Mobil), Alvania Fett R2 (Shell)).

Ежеквартально шкентель смазывается смазкой для канатов (Mobilarma 798 (Mobil), Cardium Fluid C (Shell)).

Замена масла в гидравлической системе (630 л) осуществляется через каждые 2000-3000 часов наработки.

Ежедневно контролируется уровень масла в механизмах крана; температура масла; проверяются фильтры; определяются внешние утечки. Проверяется настройка клапанов регулирования давления и расхода.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВОГО ГРУЗОВОГО КРАНА

Цель расчета – определение потребной мощности и необходимого крутящего момента механизмов крана. Составляющие моментов механизмов крана приводятся к выходному валу соответствующего гидромотора. Потребная мощность оценивается для приводного электродвигателя [2-4].

4.1 Механизм подъема груза.

Обозначения в формулах: G – грузоподъемность, т; D – диаметр барабана, м; W – угловая скорость выходного вала гидромотора, с^{-1} ; u – передаточное число редуктора; i – кратность полиспаста; t – время разгона, с; k – коэффициент приведения моментов инерции вращающихся масс механизма к валу гидромотора; I – момент инерции ротора гидромотора, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; h – КПД механизма, где η_s – суммарный КПД гидропривода механизма подъема; частота вращения соответственного выходного вала гидромотора $\omega_{\text{ГМ}}$ и вала электродвигателя $\omega_{\text{ЭД}}$

4.1.1 Статический момент на валу гидромотора $T_{\text{СТ}}$, Н·м:

$$T_{\text{СТ}} = \frac{1000 \cdot G \cdot g \cdot m \cdot D}{2 \cdot i \cdot u \cdot h} \quad (1),$$

4.1.2 Момент инерции вращающихся масс $T_{\text{ИБ}}$, Н·м:

$$T_{\text{ИБ}} = \frac{k \cdot W_{\text{ГМ}} \cdot I}{t} \quad (2).$$

4.1.3 Момент сил инерции груза $T_{\text{ИГ}}$, Н·м:

$$T_{\text{ИГ}} = \frac{1000 \cdot G \cdot W_{\text{ГМ}} \cdot D^2}{4 \cdot (i \cdot u)^2 \cdot t \cdot h} \quad (3).$$

4.1.4 Крутящий момент T (Н·м) на валу приводного электродвигателя:

$$T = T_{\text{СТ}} + T_{\text{ИБ}} + T_{\text{ИГ}} \quad (4),$$

4.1.5 Мощность N (кВт) приводного ЭД:

$$N_{\text{ИГ}} = T \cdot 10^{-3} \cdot W_{\text{ЭД}} \cdot h_{\text{Г}}^{-1} \quad (5).$$

4.2 Механизма поворота крана.

Расчет механизма поворота крана сводится к определению суммарного момента сопротивления и его составляющих. В формулах введены следующие обозначения: где, G_1 – грузоподъемность, т; G_2 – масса стрелы, т; G_3 – масса поворотной части крана без стрелы, т; L_1 – вылет крана, м; L_2 – расстояние от центра масс стрелы до оси вращения крана, м; R – расстояние от центра масс поворотной части до оси вращения крана, м; ω – угловая скорость крана, с^{-1} ; t – время разгона, с; $u_{\text{РЕД}}$ – передаточное число редуктора; $u_{\text{ЗП}}$ – передаточное число зубчатой передачи ОПУ; $\eta_{\text{МП}}$ – суммарный КПД механизма подъема; f – приведенный коэффициент трения в ОПУ; $R_{\text{ОПУ}}$ – радиус установки тел качения ОПУ, м; θ – угол крена; ψ – угол между осью вращения стрелы и плоскостью шпангоута; p – распределен-

ная ветровая нагрузка, (принимать $p = 400$ Па); K_B - коэффициент, учитывающий динамичность ветра ($K_B = 1, 4 \dots 2,2$);

Угловая скорость ω крана определяется следующим образом $\omega = (2 \cdot \pi \cdot n) / 60$, где n - частота вращения крана, мин^{-1}

4.2.1 Момент сил инерции $T_{И}$, (Н·м) при разгоне (торможении) в механизме поворота крана:

$$T_{И} = 10^3 \cdot (G_1 \cdot L_1^2 + G_2 \cdot L_2^2 + G_3 \cdot R^2) \cdot \frac{\omega}{t} \cdot \left(\frac{1}{u_{РЕД} \cdot u_{ЗП} \cdot h_{МП}} \right) \quad (6)$$

4.2.2 Момент сопротивления $T_{ТР}$, (Н·м) вращению крана от трения в опорно-поворотном устройстве (ОПУ):

$$T_{ТР} = 10^3 \cdot f \cdot g \cdot (G_1 + G_2 + G_3) \cdot R_{ОПУ} \cdot \left(\frac{1}{u_{РЕД} \cdot u_{ЗП} \cdot h_{МП}} \right) \quad (7),$$

4.2.3 Момент, возникающий при крене крана $T_{КР}$, (Н·м):

$$T_{КР} = 10^3 \cdot g \cdot L_1 \cdot (G_1 + 0,5 \cdot G_2) \cdot \sin \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \left(\frac{1}{u_{РЕД} \cdot u_{ЗП} \cdot h_{МП}} \right) \quad (8)$$

4.2.4 Момент от сил ветра, приведенный к выходному валу гидромотора:

$$T_B = 0,7 \cdot L \cdot p \cdot K_B \cdot 2 \cdot G_1 \cdot \left(\frac{1}{u_{РЕД} \cdot u_{ЗП} \cdot h_{МП}} \right) \quad (9),$$

4.2.5 Суммарный момент сопротивления T_{Σ} :

$$T_{\Sigma} = T_{И} + T_{ТР} + T_{КР} + T_B \quad (10)$$

4.2.6 Мощность $N_{МП}$ (кВт) приводного ЭД:

$$N_{МП} = T_{\Sigma} \cdot 10^{-3} \cdot \omega_{ЭД} \cdot h_{Г}^{-1} \quad (11),$$

4.3 Механизм изменения вылета стрелы.

Мощность $N_{ВС}$ (кВт) приводного ЭД определяется т.о.:

$$N_{ВС} = (p_{ГЦ} \cdot 10^6) \cdot \left(\frac{p}{4} \cdot (D_{ГЦ}^2) \right) \cdot \left(\frac{v_{ГЦ}}{60} \right) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{h_o} \quad (12),$$

где $p_{ГЦ}$ – давление в гидроцилиндре, МПа; $D_{ГЦ}$ - внутренний диаметр гидроцилиндра, м; $v_{ГЦ}$ – скорость выдвижения гидроцилиндра, м/с; η_o – суммарный КПД механизма изменения вылета стрелы.

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВОГО ГРУЗОВОГО КРАНА

Исходные данные;

Механизма подъема груза: грузоподъемность крана: $G_1 = 35$ т; диаметр барабана: $D = 0,8$ м; частота вращения выходного вала гидромотора: $n = 1530$ мин⁻¹; $w =$, с⁻¹; передаточное число редуктора: $u=108$; кратность полиспаста: $i = 2$; время разгона: $t = 2$ с; коэффициент приведения моментов инерции вращающихся масс механизма к валу гидромотора: $k = 1,17$; момент инерции ротора гидромотора: $I = 1,6$ кг·м; КПД механизма подъема груза: $\eta_r = 0,84$; частота вращения вала электродвигателя: $n = 1530$ мин⁻¹.

Механизм поворота крана: масса стрелы: $G_2 = 22,8$ т; масса поворотной части крана без стрелы: $G_3 = 27,8$ т; вылет крана: $L_1 = 29,5$ м; расстояние от центра масс стрелы до оси вращения крана: $L_2 = 13,3$ м; расстояние от центра масс поворотной части до оси вращения крана: $R = 0,15$ м; частота вращения крана $n_{кр} = 0,8$ мин⁻¹; время разгона механизма поворота $t = 5$ с; передаточное число редуктора: $u_{ред} = 127,4$; передаточное число зубчатой передачи ОПУ: $u_{зп} = 15,8$; суммарный КПД механизма поворота крана: $\eta_{мп} = 0,86$; приведенный коэффициент трения в ОПУ: $f = 0,01$; радиус установки тел качения ОПУ: $R_{опу} = 1,25$ м; угол крена $\theta = 3^\circ$; угол между осью вращения стрелы и плоскостью шпангоута $\psi = 3^\circ$; распределенная ветровая нагрузка: $p = 400$ Па; коэффициент, учитывающий динамичность ветра $K_B = 1,3$; частота вращения вала электродвигателя: $n = 1530$ мин⁻¹.

Механизм изменения вылета стрелы: давление в гидроцилиндре $p_{гц} = 40$ МПа; внутренний диаметр гидроцилиндра $D_{гц} = 0,35$ м; скорость выдвижения гидроцилиндра $v_{гц} = 0,05$ м/с; суммарный КПД механизма изменения вылета стрелы $\eta_o = 0,88$.

5.1 Механизм подъема груза.

5.1.1 Статический момент на валу гидромотора:

$$T_{ст} = \frac{1000 \cdot G_1 \cdot g \cdot m \cdot D}{2 \cdot i \cdot u \cdot h} = \frac{1000 \cdot 35 \cdot 9,81 \cdot 1 \cdot 0,8}{2 \cdot 2 \cdot 108 \cdot 0,86} = 739 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Угловая скорость ротора гидродвигателя:

$$\omega_{гм} = \frac{2 \cdot p \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1530}{60} = 160 \text{ с}^{-1};$$

5.1.2 Момент инерции вращающихся масс:

$$T_{IB} = \frac{k \cdot w_{ГМ} \cdot I}{t} = \frac{1,17 \cdot 160 \cdot 1,6}{2} = 150 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

5.1.3 Момент сил инерции груза:

$$T_{иг} = \frac{1000 \cdot G_1 \cdot w_{ГМ} \cdot D^2}{4 \cdot (i \cdot u)^2 \cdot t \cdot h} = \frac{1000 \cdot 35 \cdot 160 \cdot 0,8^2}{4 \cdot (2 \cdot 108)^2 \cdot 2 \cdot 0,86} = 11,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5.1.4 Крутящий момент Т (Н·м) на выходном валу гидродвигателя:

$$T = T_{CT} + T_{IB} + T_{иг} = 739 + 150 + 11,2 = 900,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5.1.5 Мощность механизма подъема груза:

$$N_{иг} = T_{\Sigma} \cdot 10^{-3} \cdot w_{эд} \cdot h_{Г}^{-1} = 900,4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(1530 \cdot 2 \cdot p)}{60} \cdot 0,84^{-1} = 171,7 \text{ кВт}.$$

5.2 Механизм поворота крана

Угловая скорость поворота крана

$$w = \frac{2 \cdot p \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,8}{60} = 0,084 \text{ с}^{-1}.$$

5.2.1 Момент сил инерции $T_{и}$,

$$T_{и} = 10^3 \cdot (G_1 \cdot L_1^2 + G_2 \cdot L_2^2 + G_3 \cdot R^2) \cdot \frac{w}{t} \cdot \left(\frac{1}{u_{ред} \cdot u_{зп} \cdot h_{мп}} \right) =$$

$$\frac{1000 \cdot (35 \cdot 29,5^2 + 22,8 \cdot 13,3^2 + 27,8 \cdot 0,15^2) \cdot 0,084}{5 \cdot 127,4 \cdot 15,8 \cdot 0,86} = 334,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

5.2.2 Момент сопротивления вращению крана от трения в ОПУ.

$$T_{тр} = 10^3 \cdot f \cdot g \cdot (G_1 + G_2 + G_3) \cdot R_{опу} \cdot \left(\frac{1}{u_{ред} \cdot u_{зп} \cdot h_{мп}} \right) =$$

$$\frac{1000 \cdot 0,01 \cdot 9,81 \cdot (35 + 22,8 + 27,8) \cdot 1,25}{127,4 \cdot 15,8 \cdot 0,86} = 6,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

5.2.3 Момент, возникающий при крене крана:

$$T_{кр} = 10^3 \cdot g \cdot L_1 \cdot (G_1 + 0,5 \cdot G_2) \cdot \sin \varphi \cdot \sin \gamma \cdot \left(\frac{1}{u_{ред} \cdot u_{зп} \cdot h_{мп}} \right) =$$

$$\frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 29,5 \cdot (35 + 22,8) \cdot \sin(p \cdot 3/180) \cdot \sin(p \cdot 3/180)}{127,4 \cdot 15,8 \cdot 0,86} = 26,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

5.2.4 Момент от сил ветра:

$$T_B = 0,7 \cdot L_1 \cdot p \cdot K_B \cdot 2 \cdot G_1 \cdot \left(\frac{1}{u_{ред} \cdot u_{зп} \cdot h_{мп}} \right) =$$

$$0,7 \cdot 29,5 \cdot 400 \cdot 1,3 \cdot 2 \cdot 35 \cdot (127,4 \cdot 15,8 \cdot 0,86)^{-1} = 434,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

5.2.5 Суммарный момент сопротивления T_Σ :

$$T_\Sigma = T_{II} + T_{TP} + T_{KP} + T_B = 333,6 + 4,385 + 22,2 + 434,2 = 801,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5.2.6 Мощность $N_{мп}$ приводного ЭД:

$$N_{мп} = T_\Sigma \cdot 10^{-3} \cdot \omega_{эд} \cdot h_{г}^{-1} = 801,4 \cdot \left(\frac{1530 \cdot 2 \cdot p}{60} \right) \cdot \frac{1}{0,86} = 149,2 \text{ кВт}$$

5.3 Механизм изменения вылета стрелы.

Мощность приводного ЭД:

$$N_{BC} = (p_{гц} \cdot 10^6) \cdot \left(\frac{p}{4} \cdot (D_{гц}^2) \right) \cdot \left(\frac{v_{гц}}{60} \right) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{h_o} =$$

$$2 \cdot 40 \cdot 10^6 \cdot \frac{p}{4} \cdot 0,35^2 \cdot \frac{0,05}{60} \cdot 10^{-3} \cdot 0,75^{-1} = 8,6 \text{ кВт}$$

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить настоящие МУ.
2. На основании раздела 5 выполнить расчет гидропрессового соединения лопастной судовой рулевой машины. Исходные данные выбирать на основании таблицы 1.

Таблица 1 - Исходные данные для оценочного расчета энергетических характеристик крана

№	Параметр	Последняя цифра зачетки									
		3									
1	2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Механизма подъема груза											
1	Грузоподъемность крана G_I (т)	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35
2	Диаметр барабана D (м)	0,65	0,7	0,8	0,85	0,65	0,7	0,8	0,85	0,65	0,7
3	Частота вращения выходного вала МПГ n мин ⁻¹	1450	1470	1500	1520	1450	1470	1500	1520	1450	1470
4	Передаточное число редуктора МПГ u (-)	100	102	104	106	108	110	112	114	116	118
5	Кратность полиспаста i (-)	2									
6	Время разгона МПГ t (с);	2	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5	3	2,5

[illegible]

Продолжение таблицы 1

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
23	Суммарный КПД механизма поворота крана $\eta_{МП}$ (-)	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,88	0,80	0,82	0,84	0,86
24	Приведенный коэффициент трения в ОПУ f (-)	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005
25	Радиус установки тел качения ОПУ $R_{ОПУ}$ (м)	1,2	1,3	1,4	1,5	1,3	1,4	1,5	1,6	1,6	1,5
26	Угол крена θ (°)	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
27	Угол между осью вращения стрелы и плоскостью шпангоута ψ (°)	2	3	4	2	3	4	2	3	4	3
28	Распределенная ветровая нагрузка p (Па)	400									
29	Коэффициент, учитывающий динамичность ветра K_B (-)	1,3									
Механизм изменения вылета стрелы											
30	Давление в гидроцилиндре $p_{ГЦ}$ (МПа)	22	25	28	32	40	44	22	25	28	32
31	Внутренний диаметр гидроцилиндра $D_{ГЦ}$ (м)	0,35									
32	Скорость выдвижения гидроцилиндра $v_{ГЦ}$ (м/с)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
33	Суммарный КПД механизма изменения вылета стрелы η_0 (-)	0,88									

Расчеты рекомендуется выполнять с применением вычислительной техники, например в программных продуктах Microsoft Excel или Mathcad. Сделайте выводы.

7. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

1. Отчет выполняется на листах формата А4.
2. Отчет должен содержать
 - название;
 - цель работы;
 - структурную схему СЭУ крана;
 - расчет в соответствии с разделом 5 настоящих МУ;
 - выводы.

8. ВОПРОСЫ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ

1. Представить классификацию судовых грузовых кранов.
2. Перечислить технические характеристики судовых кранов.
3. Представить классификацию типов шкентеля по выигрышу в силе.
4. Графически указать причины появления отклонения от горизонтали центра тяжести груза при изменении вылета стрелы.
5. Перечислить технические характеристики судового крана HS 35/30 t – 27/29,5.
6. Описать схему СЭУ крана HS 35/30 t – 27/29,5.
7. Описать механизм поворота крана HS 35/30 t – 27/29,5.
8. Описать механизм подъема груза крана HS 35/30 t – 27/29,5.
10. Описать механизм изменения вылета стрелы крана HS 35/30 t – 27/29,5.
11. Описать устройство и работу дискового тормоза гидромоторов крана HS 35/30 t – 27/29,5.
12. Охарактеризовать элементы управления панели крана HS 35/30 t – 27/29,5.
13. Описать периодичность смены масла механизма подъема груза.
14. Описать периодичность смены масла механизма поворота крана.
15. Описать периодичность обслуживания подшипников скольжения стрелы.
16. Указать составляющие крутящего момента на приводном валу гидромотора.
17. Охарактеризовать параметры элементов механизма подъема груза, от которых зависит статический момент на валу гидромотора.
18. Охарактеризовать параметры элементов механизма подъема груза, от которых зависит момент инерции вращающихся масс.
19. Охарактеризовать параметры элементов механизма подъема груза, от которых зависит момент сил инерции груза.
20. Охарактеризовать параметры элементов механизма поворота крана, от которых зависит момент сил инерции при разгоне.
21. Охарактеризовать параметры элементов механизма поворота крана, от которых зависит момент сопротивления вращению крана от трения в ОПУ.
22. Охарактеризовать параметры элементов механизма поворота крана, от которых зависит момент, возникающий при крене крана.
23. Охарактеризовать параметры элементов механизма поворота крана, от которых зависит момент сил ветра.
24. Охарактеризовать параметры элементов механизма изменения вылета стрелы от которых зависит мощность привода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила классификации и постройки морских судов. Морской Регистр судоходства. – С-Пб.: Регистр России, 2001. – 843 с.
2. Евдаев Н.М. Судовые гидравлические краны/Н.М.Евдаев, А.В.Круткин. – М.: Транспорт, 1989.–204 с.
3. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины/М.П.Александров. – М.: Высш.шк., 1985. –520с.
4. Александров М.Н. Судовые устройства/ М.Н.Александров, Ю.Д.Жуков, А.С.Симоненко, Ю.А.Смирнов и др. – Л.: Судостроение, 1982. – 318с.
5. Deck crane. Operating instructions and spare parts lists. Type HS 35/30t–27/29,5 m.– Lubeck.: LMG Lubecker Maschinenbau Gesellschaft mbH, 2001. – 889p. [Электронный ресурс]. KRAN 3003 Operating Instruction and Spare Parts List.pdf
6. Operating instuctions/ Single deck crane KS 45/40 T – 27,5/30 m.: LMG Lubecker Maschinenbau Gesellschaft mbH, 2001. –840p. [Электронный ресурс]. KRAN 3000-02 Betriebsvorschrift und Ersatzteilkatalog english.pdf

Владимир Анатольевич Очеретяный

**СУДОВОЙ ГРУЗОВОЙ КРАН. УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ.
РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАНА**

Технический редактор
Н.Н. Остапенко

Подписано к печати --.--.16. Изд. №. --/--. Зак. № ---/201-. Тираж 50 экз.
Объем -, п. л. Усл. печ. л. -,--. Уч.-изд. л. -,--.
Формат бумаги 60x84 1/16

РИИЦМ ФГАОУВО «Севастопольский государственный университет»