**Грузовой план судна**

**1. Данные о рейсе**

Транспортно-эксплуатационные характеристики судна

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №п/п | Характеристика | значение |
| 1 | Тип судна | Сормовский |
| 2 | Проект | 1557 |
| 3 | Длина наибольшая | 114,0 м |
| 4 | Длина между перпендикулярами | 110,0 м |
| 5 | Ширина судна | 13,2 м |
| 6 | Высота борта | 5,5 м |
| 7 | Осадка судна по ЛГМ в грузу | 3,75 м |
| 8 | ***hдн*** Возвышение дна трюма над основной плоскостью | 0,9 м |
| 9 | Водотоннажность в грузу по ЛГМ | 4426 т |
| 10 | Дедвейт | 3130 т |
| 11 | Грузоподъемность по ЛГМ | 3000 т |
| 12 | Водотоннажность порожнем | 1286 т |
| 13 | Скорость в грузу | 9 уз. |
| 14 | Скорость в балласте | 10,5 уз. |
| 15 | Экипаж | 15 человек |
| 16 | Расстояние между портами | 2200 миль |
| 17 | Осадка судна носом перед погрузкой | 0,3 м |
| 18 | Осадка судна кормой перед погрузкой | 2,1 м |
| 19 | Осадка судна на миделе перед погрузкой | 1,3 м |
| 20 | Абсцисса ЦТ судна порожнем | – 9,85 м |
| 21 | Аппликата ЦТ судна до погрузки | 4,72 м |
| 22 | Плотность забортной воды в порту до погрузки | 1,023 |
| 23 | Плотность забортной воды в порту до выгрузки | 1,016 |
| 24 | Груз | Промышленное оборудование |
| 25 | Удельный погрузочный объем груза | 2,2 м3/т |
| 26 | Расход топлива на ходу | 5,64 т/сутки |
| 27 | Расход пресной воды на 1 человека | 0,1 т/сутки |

Данные о парусности судна в грузу при осадке 3,75 м

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | Площадь парусности | 460 м2 |
| 2 | Возвышение центра парусности в грузу над ВЛ | 2,7 м |
| 3 | Суммарная площадь скуловых килей | 40 м2 |

Расчет ходового времени производится по формуле:

Tx = S /V·24, (1.1)

где S – расстояние между портами;

V – скорость хода судна.

**Тх = 2200/9⋅24 =10,2 сут.**

Расчет необходимых запасов на рейс произведем по следующим формулам:

– необходимое количество топлива определяем по формуле:

Pт = Kзт·q·tx, (1.2)

где Кзт – коэффициент запаса топлива Кзт = 1,1;

q – норма расхода топлива на ходу;

tx – время судна в ходу.

**Рт = 1,1·5,64·10,2 = 63,3 т**

– запасы масла принимаем в количестве 5% от количества топлива:

Рм = 0.05·Рт, (1.3)

**Рм = 0.05·63,3 = 3,2 т**

– запасы пресной воды определим по формуле:

Pв = q·Чэк·tx, (1.4)

где q – количество воды приходящееся на одного человека экипажа в сутки;

Чэк – количество членов экипажа.

**Рв= 0,1·15·10,2 = 15,3 т**

Для исключения влияния свободных поверхностей жидкости заполним бортовые цистерны пресной воды вместимостью 10,9 и 12,8 т полностью.

Итого судно на отход будет иметь **23,7 т** пресной воды.

Сумму всех запасов найдем по формуле:

Рзн=Рт+Рм+Рв, (1.5)

**Рзн = 63,3+3,2+15,3= 81,8 т**

К концу рейса остается 10% от суммарных запасов и плюс остаток пресной воды, которые находятся по формуле:

Рзк = 10·Рзн/100+ΔРв, (1.6)

где ΔРв – остаток пресной воды, который равен ΔРв = 23,7 – 15,3 = 8,4 т

**Рзк = 10·81,8 /100+8,4 = 16,6 т**

**Характеристика груза**

***Промышленное оборудование*** обычно перевозят в ящиках, поэтому мы можем отнести этот груз к генеральному, подвиду ящичных грузов.

В ящиках перевозят самые разнообразные грузы. В зависимости от массы груза нетто, его плотности, физико-химических и биологических свойств требуется большая или меньшая прочность ящиков. Ящики подразделяются по материалу, из которого они изготовлены, на дощатые, фанерные и картонные короба.

Отплощадки, находящейся под просветом люка, ящики перемещают к месту укладки вручную, при помощи трюмных электропогрузчиков, ручных тележек или специальных катков. Кантовать, но с осторожностью, разрешается только те ящики, на которых не нанесено надписей, запрещающих это. Ящики укладывают плашмя на подкладки толщиной не менее 5 см. Если груз требует активной вентиляции, между ярусами помещают прокладки толщиной не менее 2,5 см. Если ящики отличаются по размерам и форме, необходимо заполнять мелкими ящиками промежутки между крупными местами. При этом нужно следить затем, чтобы поверхность каждого яруса была ровной. Прочные и тяжелые ящики укладывают внизу, более легкие – наверху. Большие ящики следует укладывать в центре трюма, ящики меньших размеров – у бортов. Это позволит лучше использовать грузовместимость.

При погрузке ящиков на другой груз необходимо поверх этого груза устроить ровный настил и уже на него укладывать ящики. Остающееся свободное пространство в оконечностях грузовых помещений, около льял и пиллерсов необходимо забить любым подручным материалом, поверх которого устанавливают платформу из досок и укладывают следующий ярус ящиков. Для предотвращения поломки и загрязнения ящиков поверх того слоя, на котором ведется укладка, следует настилать широкие доски переходные мостики для портовых рабочих.

**Распределение грузов и запасов**

Данные по грузовым помещениям судна

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование цистерн** | **ΔМН** | **Масса****Р (т)** | **Z (м)** | **Мz (тм)** | **Х (м)** | **Мх (тм)** |
| Цистерна отходов топл. Масла №25 ПБ 142–144 |  | 1,7 | 0,5 | 1 | -41 | -70 |
| Цистерна пресной воды ЛБ №11 127–133 |  | 10,9 | 4,2 | 46 | -33,8 | -368 |
| Цистерна пресной воды ПБ №11 127–133 |  | 12,8 | 1,9 | 24 | -33,92 | -434 |
| Цистерна основных запасов топлива №13 133–144 | 418 | 38,6 | 0,5 | 19 | -39,2 | -1513 |
| Цистерна основных запасов топлива №14 136–150 |  | 19,5 | 3,22 | 63 | -40,3 | -802 |
| Расходная цистерна главного двиг. ЛБ №15 141–142 |  | 1,6 | 4,16 | 7,0 | -39,97 | -64 |
| Цист сепар. Масла №16 ПБ 145–148 |  | 1,1 | 0,58 | 1,0 | -43,0 | -47 |
| Цистерна осн. запасов топлива ЛБ №17 133–156 | 690 | 27,1 | 3,3 | 89 | -42,0 | -1138 |
| Цистерна отраб. Масла ПБ №18 145–149 |  | 1,9 | 0,6 | 1,0 | -42,1 | -82 |
| Цистерна осн. Запаса масла №19 145–150 |  | 4,5 | 0,68 | 3 | -43,8 | -197 |
| Цистерна подсланевой воды №20 ПБ 148–156 |  | 8 | 2,08 | 16 | -45,6 | -336 |
| Цистерна осно. запасов топлива №21 ДП 151–156 |  | 7,5 | 0,9 | 7 | -46,2 | -350 |
| Цистерна балластная ДП №22 156–159 | 55 | 48,8 | 2,72 | 133 | -50,6 | -2469 |
| Фекальная цистерна №23 156–161 |  | 6 | 4,39 | 26 | -49,5 | -297 |
| Цистерна пресной воды ДП №24 167–172 | 44 | 13,8 | 4,54 | 62,6 | -55,4 | -764 |
| Балласт ДП №1 11–23 | 378 | 92 | 1,86 | 171 | 45,8 | 4214 |
| Балласт ДП №2 23–34 | 302 | 95 | 2,18 | 207 | 39,9 | 3790 |
| Балласт ДП №3 34–55 | 217 | 226 | 1,90 | 429 | 31,1 | 7029 |

Запасы топлива размещаем в первую очередь в расходных цистернах, расположенных в районе машинно-котельного отделения (МКО), танках двойного дна и в последнюю очередь в топливно-балластных танках. Танки, как правило, заполняем полностью, чтобы исключить влияние свободной поверхности жидких грузов на остойчивость. Цистерны пресной воды заполняем полностью.

Расчёт положения центра тяжести принятых запасов производим в табличной форме.

Таблица 1.1 – Распределение запасов

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Запасы и их размещение | Район расположения (шпангоут) | Вместимость помещений(т) | Масса принимаемых запасов (т) | Плечи (м) | Моменты(ТМ) |
| Х | Z | Mx | Mz |
| **НА МОМЕНТ ОТХОДА** |
| **Топливо** |
| 1 | Цистерна №15 расходная ГД | 141–142 | 1,6 | 1,6 | -39,97 | 7,0 | -64,0 | 11,2 |
| 2 | Цистерна №13 основного запаса топлива | 133–144 | 38,6 | 38,6 | -39,2 | 0,5 | -1513,1 | 19,3 |
| 3 | Цистерна №14 основного запаса топлива | 136–150 | 19,5 | 19,5 | -40,3 | 3,22 | -785,8 | 62,8 |
| 4 | Цистерна №21 основного запаса топлива | 151–156 | 7,5 | 7,5 | -46,2 | 0,9 | -346,5 | 6,8 |
| **Масло** |
| 5 | Цистерна №16 сепарированного масла ПБ | 145–148 | 1,1 | 1,1 | -43,0 | 0,58 | -47,0 | 1,0 |
| 6 | Основной запас масла Цистерна №19 ЛБ | 145–150 | 4,5 | 4,5 | -43,8 | 0,68 | -197,0 | 3,0 |
| **Пресная вода** |
| 7 | Цистерна №11 ЛБ пресная вода | 127–133 | 10,9 | 10,9 | -33,8 | 4,2 | -368 | 46 |
| 8 | Цистерна №12ПБ пресная вода | 127–133 | 12,8 | 12,8 | -33,92 | 1,9 | -434 | 24 |
| **Всего запасы:** | **96,5** | **-38,95** | **1,80** | **-3758,4** | **174,1** |
| **НА МОМЕНТ ПРИХОДА** |
| **Топливо** |
| 9 | Цистерна №15 расходная ГД | 141–142 | 1,6 | 1,6 | -39,97 | 7,0 | -64,0 | 11,2 |
| 10 | Цистерна №21 основного запаса топлива | 151–156 | 7,5 | 2,3 | -46,2 | 0,9 | -106,3 | 2,1 |
| **Масло** |
| 11 | Цистерна №16 сепарированного масла ПБ | 145–148 | 1,1 | 1,1 | -43,0 | 0,58 | -47,0 | 1,0 |
| 12 | Основной запас масла Цистерна №19 ЛБ | 145–150 | 4,5 | 1,3 | -43,8 | 0,68 | -56,9 | 0,9 |
| **Пресная вода** |
| 13 | Цистерна №11 ЛБ пресная вода | 127–133 | 10,9 | 8,4 | -33,8 | 4,2 | -284,0 | 35,3 |
| Всего запасы: | **14,7** | **-37,97** | **3,44** | **-558,2** | **50,5** |

Данные о грузовых помещениях

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименованиепомещения | Площадьтрюма, м2 | Зерноваягрузовмест.м3 | Киповая грузовмест.м3 | Абсцисса ЦТ, мХ | Аппликата ЦТ, мZ1 | Возвышение днища над ОП, ***hдн***, м | Условный объемный кренящий момент от смещения зерна |
| Трюм №1 | 343,3 | 951 | 664 | 33,80 | 3,65 | 0,88 | 219 |
| Трюм №2 | 433,6 | 1136 | 793 | 15,45 | 3,5 | 0,88 | 255 |
| Трюм №3 | 439,1 | 1146 | 800 | -4,18 | 3,49 | 0,88 | 255 |
| Трюм №4 | 400,0 | 1064 | 743 | -23,2 | 3,54 | 0,88 | 226 |
| Всего |  | 4297 | 3000 |  |  |  | 955 |

При частичной загрузке трюмов (когда Z<Z1) аппликату центра объема Z по трюмам можно определить по формуле:



(1.7)

Где Vi – объем, занятый грузом: Vi = Р ∙ ω, м3;

S – площадь трюма, м2;

Р – масса груза, т;

ω – удельный погрузочный объем груза, м3/т;

***hдн***− возвышение днища трюма над основной плоскостью, м.

Распределяем груз по трюмам, используя данные грузовых помещений

Таблица 1.2 – Распределение грузов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Помещение | Вместимость помещения Wi (м3) | Объём занятый грузом Vi(м3) | Масса груза | Плечи (м) | Моменты (тм) |
| X | Z | Мx | Mz |
| Трюм №1 | 664 | 664 | 301,8 | 33,80 | 3,65 | 10200,8 | 1101,6 |
| Трюм №2 | 793 | 793 | 360 | 15,45 | 3,5 | 5562,0 | 1260,0 |
| Трюм №3 | 800 | 798,6 | 363 | -4,18 | 3,49 | -1517,3 | 1266,9 |
| Трюм №4 | 743 | 741,4 | 337 | -23,2 | 3,54 | -7818,4 | 1193,0 |
| Итого груз | 3000 | 2997 | 1361,8 | **4,72** | **3,54** | **6427,1** | **4821,5** |

На основании выполненного распределения запасов и грузов составляем таблицу сводных данных и расчета водоизмещения с указанием координат центра тяжести судна. Эти расчеты представлены в таблице 3.5.

Таблица 1.3 – Расчет водоизмещения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Статьи нагрузки | Масса (т) | Плечи (м) | Моменты (тм) |
| X | Z | Мx | Mz |
| НА МОМЕНТ ОТХОДА |
| Судно перед загрузкой | 1286 | -9,85 | 4,72 | -12667,1 | 6069,9 |
| Судовые запасы | 96,5 | -38,95 | 1,8 | -3758,4 | 174,1 |
| Перевозимый груз | 1361,8 | 4,72 | 3,54 | 6427,1 | 4821,5 |
| **Судно после загрузки** | **2744,3** | **-3,64** | **4,03** | **-9998,4** | **11065,5** |
| НА МОМЕНТ ПРИХОДА |
| Судно порожнем | 1286 | -9,85 | 4,72 | -12667,1 | 6069,9 |
| Запасы | 14,7 | -37,97 | 3,44 | -558,2 | 50,5 |
| Груз | 1361,8 | 4,72 | 3,54 | 6427,1 | 4821,5 |
| **Итого:** | **2662,5** | **-2,55** | **4,11** | **-6798,2** | **10941,9** |

Для водоизмещения судна после загрузки D = 2744,3 т и плотности воды γи=1,0 т/м3 по грузовой шкале определяем среднюю осадку судна после загрузки Т`ср.

Грузовая шкала построена для плотности γ≠γи, то следует учесть поправку к средней осадке Т`ср, определённой по грузовой шкале, на плотность воды:

(1.8)

где γ = 1,0 т/м3 – плотность, для которой построена грузовая шкала;

Т`ср = 2,84 м – средняя осадка по грузовой шкале при γ = 1,0 т/м3;

δ = 0,82 – коэффициент полноты водоизмещения;

α= 0,89 – коэффициент полноты площади ватерлинии.

ΔТ = (1,0–1,023)/1,0·0,834/0,862·2,84= **-0,06 м**

Тср = 2,84 м – 0,06 м = **2,78 м**

Для средней осадки Tcp1 = 2,78 м из информации по остойчивости для капитана (приложение 1) определяем значение величин:

Xc1 = – 0,80 м – абсцисса центра величины;

Xf1 = -1,52 м – абсцисса центра тяжести площади ватерлинии;

Zc1 = 1,47 м – аппликата центра величины;

r1 = 4,9 м – поперечный метацентрический радиус;

R1 = 325 м – продольный метацентрический радиус;

a) Определяем момент, дифферентующий судно на 1 см на отход и приход по формуле:

 (1.9)

(1.9)

где D1 – водоизмещение судна в грузу;

H – продольная метацентрическая высота;

L – расчетная длина судна.

H = R1+Zc – Z g,

где Z g – аппликата центра тяжести.

H= 325 + 0,80 − 4,03 =321,8 м

М1 = 2744,3⋅321,8/100⋅110 = **80,3 тм/см (на отход)**

М2 = 2662,5⋅321,8/100⋅110 = **77,9 тм/см (на приход)**

б) Определение дифферента судна после загрузки в начале и конце рейса:

dн=D1·(Xg1-Xc1)/M·100 (1.10)

где Xg1 – абсциса центра тяжести судна.

dн =2744,3·(-3,64+0.80)/80,3·100= **-0,97 м**

dк=D2·(Xg1-Xc1)/M·100 (1.11)

dк =2662,5·(-2,55+0.80)/77,9·100= **-0,60 м**

После загрузки судно получило дифферент на корму. Рекомендуется иметь дифферент на корму в пределах от 0 до -0,5 м. Все судовые запасы находятся в кормoвой части судна, поэтому при движении судна расход судовых запасов приведёт к увеличению дифферента на нос. Кроме того, для уменьшения заливаемости судна при движении на встречном волнении необходимо иметь дифферент на корму. Однако необходимо помнить, что для судов проекта 1557 осадка кормой не должна превышать 4,1 м, иначе будет нарушено требование к высоте остаточного надводного борта при затоплении машинного отделения. Полученные расчеты дифферента не удовлетворяют требованию, поскольку дифферент для начала рейса составляет 0,97 м на корму. Поскольку, из-за большого УПО судно имеет значительный недогруз, можно уменьшить значение дифферента приемом балласта в носовые танки.

Нам нужно уменьшить дифферент на 0,47 м; по формуле 1.9 определяем величину необходимого дифферентующего момента.

М1’ = 47 ∙ M1 = 47∙80.3 = 3774.1 Нм

По данным грузовых помещений находим, что почти точно по величине момента подходит Балластный танк №2.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Запасы и их размещение | Район расположения (шпангоут) | Вместимость помещений(т) | Масса принимаемых запасов (т) | Плечи (м) | Моменты(ТМ) |
| Х | Z | Mx | Mz |
| **НА МОМЕНТ ОТХОДА** |
| **Топливо** |
| 1 | Цистерна №15 расходная ГД | 141–142 | 1,6 | 1,6 | -39,97 | 7,0 | -64,0 | 11,2 |
| 2 | Цистерна №13 основного запаса топлива | 133–144 | 38,6 | 38,6 | -39,2 | 0,5 | -1513,1 | 19,3 |
| 3 | Цистерна №14 основного запаса топлива | 136–150 | 19,5 | 19,5 | -40,3 | 3,22 | -785,8 | 62,8 |
| 4 | Цистерна №21 основного запаса топлива | 151–156 | 7,5 | 7,5 | -46,2 | 0,9 | -346,5 | 6,8 |
| **Масло** |
| 5 | Цистерна №16 сепарированного масла ПБ | 145–148 | 1,1 | 1,1 | -43,0 | 0,58 | -47,0 | 1,0 |
| 6 | Основной запас масла Цистерна №19 ЛБ | 145–150 | 4,5 | 4,5 | -43,8 | 0,68 | -197,0 | 3,0 |
| **Пресная вода** |
| 7 | Цистерна №11 ЛБ пресная вода | 127–133 | 10,9 | 10,9 | -33,8 | 4,2 | -368 | 46 |
| 8 | Цистерна №12ПБ пресная вода | 127–133 | 12,8 | 12,8 | -33,92 | 1,9 | -434 | 24 |
| **Балласт** |
| 9 | Цистерна №2 ДП | 23–34 | 95 | 95 | 39,9 | 2,18 | 3790 | 207 |
| **Всего запасы:** | **191,5** | **0,16** | **1,99** | **31,6** | **381,1** |
| **НА МОМЕНТ ПРИХОДА** |
| **Топливо** |
| 10 | Цистерна №15 расходная ГД | 141–142 | 1,6 | 1,6 | -39,97 | 7,0 | -64,0 | 11,2 |
| 11 | Цистерна №21 основного запаса топлива | 151–156 | 7,5 | 2,3 | -46,2 | 0,9 | -106,3 | 2,1 |
| **Масло** |
| 12 | Цистерна №16 сепарированного масла ПБ | 145–148 | 1,1 | 1,1 | -43,0 | 0,58 | -47,0 | 1,0 |
| 13 | Основной запас масла Цистерна №19 ЛБ | 145–150 | 4,5 | 1,3 | -43,8 | 0,68 | -56,9 | 0,9 |
| **Пресная вода** |
| 14 | Цистерна №11 ЛБ пресная вода | 127–133 | 10,9 | 8,4 | -33,8 | 4,2 | -284,0 | 35,3 |
| **Балласт** |
| 15 | Цистерна №2 ДП | 23–34 | 95 | 95 | 39,9 | 2,18 | 3790 | 207 |
| Всего запасы: | **109,7** | **29,46** | **2,35** | **3231,8** | **257,5** |

На основании выполненного распределения запасов и грузов составляем таблицу сводных данных и расчета водоизмещения с указанием координат центра тяжести судна. Эти расчеты представлены в таблице 3.5.

Таблица 1.3 – Расчет водоизмещения

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Статьи нагрузки | Масса (т) | Плечи (м) | Моменты (тм) |
| X | Z | Мx | Mz |
| НА МОМЕНТ ОТХОДА |
| Судно перед загрузкой | 1286 | -9,85 | 4,72 | -12667,1 | 6069,9 |
| Судовые запасы | 191,5 | 0,16 | 1,99 | 31,6 | 381,1 |
| Перевозимый груз | 1361,8 | 4,72 | 3,54 | 6427,1 | 4821,5 |
| **Судно после загрузки** | **2839,3** | **-2,19** | **3,97** | **-6208,4** | **11272,5** |
| НА МОМЕНТ ПРИХОДА |
| Судно порожнем | 1286 | -9,85 | 4,72 | -12667,1 | 6069,9 |
| Запасы | 109,7 | 29,46 | 2,35 | 3231,8 | 257,5 |
| Груз | 1361,8 | 4,72 | 3,54 | 6427,1 | 4821,5 |
| **Итого:** | **2757,5** | **-1,09** | **4,11** | **-3008,2** | **11148,9** |

Для водоизмещения судна после загрузки D = 2839,3 т и плотности воды γи=1,0 т/м3 по грузовой шкале определяем среднюю осадку судна после загрузки Т`ср.

Грузовая шкала построена для плотности γ≠γи, то следует учесть поправку к средней осадке Т`ср, определённой по грузовой шкале, на плотность воды:

(1.8)

где γ = 1,0 т/м3 – плотность, для которой построена грузовая шкала;

Т`ср = 2,92 м – средняя осадка по грузовой шкале при γ = 1,0 т/м3;

δ = 0,82 – коэффициент полноты водоизмещения;

α= 0,89 – коэффициент полноты площади ватерлинии.

ΔТо = (1,0–1,023)/1,0·0,834/0,862·2,92= **-0,06 м**

Тср = 2,92 м – 0,06 м = **2,86 м на отход**

ΔТп = (1,0–1,016)/1,0·0,834/0,862·2,85= **-0,03 м**

Тср = 2,85 м – 0,03 м = **2,82 м на приход**

Для средней осадки Tcp1 = 2,86 м из информации по остойчивости для капитана (приложение 1) определяем значение величин:

Xc1 = – 0,80 м – абсцисса центра величины;

Xf1 = -1,52 м – абсцисса центра тяжести площади ватерлинии;

Zc1 = 1,47 м – аппликата центра величины;

r1 = 4,9 м – поперечный метацентрический радиус;

R1 = 325 м – продольный метацентрический радиус;

a) Определяем момент, дифферентующий судно на 1 см на отход и приход по формуле:

 (1.9)

(1.9)

где D1 – водоизмещение судна в грузу;

H – продольная метацентрическая высота;

L – расчетная длина судна.

H = R1+Zc – Z g,

где Z g – аппликата центра тяжести.

H= 325 + 0,80 − 3,97 =321,8 м

М1 = 2839,3⋅321,8/100⋅110 = **83,1 тм/см (на отход)**

М2 = 2757,5⋅321,8/100⋅110 = **80,7 тм/см (на приход)**

б) Определение дифферента судна после загрузки в начале и конце рейса:

dн=D1·(Xg1-Xc1)/M·100 (1.10)

где Xg1 – абсциса центра тяжести судна.

dн =2839,3·(-2,19+0.80)/83,1·100= **-0,47 м**

dк=D2·(Xg1-Xc1)/M·100 (1.11)

dк =2757,5·(-1,09+0.80)/80,7·100= **-0,10 м**

В результате пересчета с учетом приема балласта мы добились приемлемого значения дифферента для судна.

Расчет посадки и остойчивости судна на отход и приход выполняется по грузовой шкале и кривым элементов теоретического чертежа и дублируется расчетами по диаграмме осадок носом и кормой.

Расчет посадки судна по грузовой шкале и гидростатическим кривым представлен в таблице 1.4

\* Zm = Zc + r

Таблица 1.4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование величины и формулы | Обозначение | Значение величины |
| отход | приход |
| Водотоннажность (т) | D | **2839,3** | **2757,5** |
| Абсцисса ЦТ судна (м) | Xg (дополнение 1) | **-2,19** | **-1,09** |
| Плотность забортной воды | Ρ (задание) | **1,023** | **1,016** |
| Осадка судна (м) | T (дополнение 3) | **2,86** | **2,82** |
| Момент, дифф. Судно на 1 см (т/см) | M1 (формула 1.9) | **83,1** | **80,7** |
| Абсцисса ЦВ судна (м) | Xc (дополнение 1) | **-0,8** | **-0,8** |
| Абсцисса ЦТ площади ватерлинии (м) | Xf (дополнение 1) | **-1,52** | **-1,52** |
| Аппликата поперечного метацентра (м) | Zm\* (дополнение 1) | **6,37** | **6,37** |
| Коэффициент общей полноты | δ (дополнение 1) | **0,834** | **0,834** |
| Дифферент судна (м) | d=[D∙(Xg − Xc)/M]/100 | **-0,47** | **-0,10** |
| Осадка судна носом (м) | Tн = T – d (1/2 – Xf/L) | **2,62** | **2,77** |
| Осадка судна кормой (м) | Tк = T + d (1/2 + Xf/L) | **3,10** | **2,87** |

Для дальнейших расчетов принимаем значения величин, полученные при расчетах по грузовой шкале и кривым элементов теоретического чертежа.

**Составление грузового плана судна. Расчет остойчивости судна. Составление диаграмм статической и динамической остойчивости судна**

Расчет начальной метацентрической высоты производится по формуле:

h = Zm – Zg, (2.1)

где Zm – аппликата метацентра;

Zg – апликата центра тяжести.

По формуле (2.1) произведем расчет начальной поперечной метацентрической высоты для начала рейса и конца рейса:

с) Рассчитываем поперечную метацентрическую высоту:

h1= Zm – Zg1 = 6,37 – 3,97 = 2.40 м

h2= Zm – Zg2 = 6,37 – 4,11 = 2,26 м

Рассчитаем исправленную поперечную метацентрическую высоту:

h1,2 = Zc1,2 + p1,2 – Zg1,2 (м) (2.2)

где Zg1,2 = Z + Δmh, м

Δmh – поправка к метацентрической высоте на учет влияния свободных поверхностей (выбирается из приложения 2).

Таблица 2.1 – расчет параметров начальной остойчивости:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование величин | Обозначение | Формулы | Значения |
| отход | приход |
| Водоизмещение | D |  | **2839,3** | **2757,5** |
| Аппликата ЦТ судна | Zg |  | **3,97** | **4,11** |
| Аппликата поперечного метацентра | Zm |  | **6,37** | **6,37** |
| Неисправленная метацентрическая высота | h0 | h0 = Zm − Zg | **2,40** | **2,26** |
| Поправка к метацентрической высоте | Δh | Δh = ΣΔmh/D | **0,15** | **0,15** |
| Исправленная метацентрическая высота | h | h = h0 – Δh | **2,25** | **2,11** |

Проверку остойчивости выполняем по материалам «информации по остойчивости судна» по допустимым метацентрическим высотам:

* максимальное плечо L > 0,2 м при Qmax = 30 град;
* угол заката Qзак > 60 град;
* исправленная метацентрическая высота h > 0.15 м;
* критерий погоды ДО > 1;
* угол крена от действия постоянного ветра Q < 15 град;
* критерий ускорения ДО > 1.

**Построение диаграммы статической остойчивости**

В «Информации об остойчивости судна для капитана» имеется универсальная диаграмма статической остойчивости, предложенная профессором Г.Е. Павленко, т.е. она представляет собой набор диаграмм статической остойчивости для различных водоизмещении судна в диапазоне от водоизмещения порожним до водоизмещения в полном грузу. При использовании универсальной диаграммы плечи статической остойчивости ***l*** находятся непосредственно по чертежу для значений D, h и Q. Диаграмма построена с учётом влияния свободной поверхности жидких грузов на остойчивость.

Исходными данными являются:

Водоизмещение судна D1=2839,3 т и поперечная метацентрическая высота с учётом поправки Δmh на влияние свободной поверхности жидких грузов h1=2,25 м. Снятые плечи диаграммы статической остойчивости по метацентрической высоте и водоизмещению заносим в таблицу 1.6.

Диаграмма динамической остойчивости является интегральной кривой по отношению к диаграмме статической остойчивости. Для построения диаграммы динамической остойчивости в таблице производим расчёт плеч диаграммы динамической остойчивости. Диаграмма динамической остойчивости является интегральной кривой по отношению к диаграмме статической остойчивости. Плечо динамической остойчивости вычисляется по формуле:

Таблица 2.2 – Расчет диаграмм статической и динамической остойчивости

|  |  |
| --- | --- |
| Рассчитываемая величина | Значение расчетных величин |
| **на отход** |
| Угол Q (град) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Плечо статической остойчивости *l* (м) | **0** | **0,45** | **0,93** | **1,29** | **1,25** | **0,98** | **0,70** | **0,39** |
| Σинт *l* | 0 | 0,45 | 1,83 | 4,05 | 6,59 | 8,82 | 10,5 | 11,59 |
|  | ***0*** | ***0,04*** | ***0,16*** | ***0,35*** | ***0,57*** | ***0,77*** | ***0,91*** | ***1,01*** |
|  | **на приход** |
| Угол Q (град) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Плечо статической остойчивости *l* (м) | **0** | **0,43** | **0,88** | **1,20** | **1,16** | **0,89** | **0,54** | **0,25** |
| Σинт *l* | 0 | 0,43 | 1,74 | 3,82 | 6,18 | 8,23 | 9,66 | 10,45 |
|  | ***0*** | ***0,04*** | ***0,15*** | ***0,33*** | ***0,54*** | ***0,72*** | ***0,84*** | ***0,91*** |

**Расчет параметров остойчивости судна**

Проверка остойчивости по диаграмме моментов.

Определяем исправленный момент с учётом поправки на влияние жидких грузов со свободной поверхностью:

Mz исп = Mz + Δmh;

Mz1 исп =11272,5+418 = **11690,5 тм** на отход

Mz2 исп =11148,9+418 = **11566,9 тм** на приход

Откладываем значение исправленного момента по вертикальной линии, получаем точку «А», положению которой соответствует исправленная поперечная метацентрическая высота h1 = 2,55 м.

Точке «В» на кривой предельных моментов соответствует допускаемый момент Mz доп = 20100 т м (201000 кН м) и допускаемая поперечная мета-центрическая высота h доп = 1,0 м.

Результаты проверки остойчивости по диаграмме допускаемых статических моментов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Результаты проверки остойчивости по диаграмме допускаемых статических моментов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Величины и их обозначения, формулы | Единицы измерения | Значения величин |
| отход | приход |
| Водоизмещение судна D | т | **2839,3** | **2757,5** |
| Момент относительно основной плоскости Mz | кН м | **11272,5** | **11148,9** |
| Исправления ΣΔmh | кН м | **419** | **419** |
| Исправленный момент Mzиспр = Mz + ΣΔmh | кН м | **11690,5** | **11566,9** |
| Допустимый момент Mzдоп | кН м |  |  |
| Разница Δmh = Mzиспр – Mzдоп | кН м |  |  |
| Метацентрическая высота без учета влияния жидких грузов h0 | м |  |  |
| Допустимая метацентрическая высота hдоп | м |  |  |
| Метацентрическая высота h | м |  |  |

**Проверка остойчивости по критерию погоды**

Остойчивость судна по критерию погоды считается достаточной, если при наихудшем, в отношении остойчивости варианте нагрузки динамически приложенный кренящий момент от давления ветра Mv равен или меньше опрокидывающего момента Мс, т.е. если соблюдается условие Mv < Mc или К = Mc/MV ≥ 1,0.

***а) Определение кренящего момента от давления ветра.***

Кренящий момент от давления ветра определяется по формуле:

Mv = 0,001 Pv·Av·Z (3.1)

где Pv – давление ветра, кг/м2 или Па.

По «Расчёту парусности и обледенения» для судна проекта **1557** при осадке Тcр' = 2,86 м, используя данные информации по остойчивости для капитана, находим площадь парусности Av = 580 м2 и аппликату центра парусности над действующей ватерлинией при осадке Тср = 2,86 м, Z = 3,15 м, Pv = 35,0 Па

Mv = 0,001 Pv·Av·Z = 0,001·35·580·3,15= **63,94 тм**

б) Расчёт амплитуды качки.

Амплитуда качки судна с круглой скулой, не снабжённого скуловыми килями и брусковым килем, вычисляются по формуле:

θ1r = X1·X2·V (3.2)

где X1, X2 – безразмерные множители;

V – множитель в градусах.

Амплитуду качки на отход и приход судна находим в информации по остойчивости судна для капитана.

Q1r = 18.8°

Плечо опрокидывающего момента *lc* на отход и приход судна определяем по диаграмме динамической остойчивости.

Тогда опрокидывающий момент равен:

Мс1 = D1 ∙ lc1 = 2839.3 ∙ 0.6 = **1703.6 тм** (на отход) (3.3)

Мс2 = D2 ∙ lc2 = 2757,5 ∙ 0.48 = **1323.6 тм** (на приход)

Кроме этого по диаграмме статической и динамической остойчивости можно определить максимальный динамический угол крена Θmax дин, на который судно может накрениться под воздействием динамического кренящего момента, не опрокидываясь. На диаграмме динамической остойчивости этому углу соответствует абсцисса точки Т. Полученные результаты проверки остойчивости заносим в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование величин | Обозначения и формулы | Значения величин |
| отход | приход |
| Водоизмещение, (т) | D | **2839.3** | **2757.5** |
| Осадка судна, (м) | Тср | **2.86** | **2.82** |
| Площадь парусности (ЦП), (м2) | Av (из информации) | **580** | **580** |
| Возвышение ЦП над ватерлинией, (м) | Z (из информации) | **3.15** | **3.15** |
| Расчетное давление ветра, Па | Pv (из таблиц правил) | **35.0** | **35.0** |
| Кренящий момент от ветра, (тм) | Mv = 0,001 Pv·Av·Z | **63.94** | **63.94** |
| Амплитуда качки со скуловыми килями, (градусы) | Θ2r = k∙X1∙X2∙Y |  |  |
| Угол заливания, (градусы) | Θf (из диаграммы остойчивости) |  |  |
| Плечо опрокидывающего момента, (м) | Lc (из диаграммы остойчивости) | **0.60** | **0.48** |
| Опрокидывающий момент, (кН∙м) | Mc = g∙D∙Lc | **1703.6** | **1323.6** |
| Критерий погоды | K = Mc/Mv | **26.6** | **20.7** |
| Кренящее плечо, (м) | Lw1 = 0.504∙Av∙Zv/(gD) | **0.033** | **0.034** |
| Кренящее плечо, (м) | Lw2 = 1.5Lw1 | **0.049** | **0.051** |
| Период качки, (с) | T = 2cB/√h0 | **7.4** | **7.6** |
| Инерционный коэффициент | c=0.373+0.023B/T-0.043L/100 | **0.432** | **0.433** |
| Коэффициент | R = 0.73+0.6 (Zg-T)/T | **0.96** | **1.00** |
| Угол крена от постоянного ветра, (градус) | Θ0 |  |  |
| Угол входа палубы в воду, (градус) | Θd = arctg (2 (H – T)/B) | **21.8** | **21.8** |
| Критерий погоды по IMO | K = b/a |  |  |

**Проверка продольной прочности корпуса**

Для определения продольной прочности корпуса судна произведем расчет арифметической суммы масс дедвейта относительно миделя.

В таблице 4.1 представлен расчет суммы моментов масс дедвейта относительно миделя.

Проверка продольной прочности представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.1



Таблица 4.2



Числовой коэффициент ko = 0,0182 при прогибе (Моб<0)

**ko = 0,0205 при перегибе (Моб>0**)

Произведя проверку продольной прочности судна на тихой воде, приходим к выводу, что она обеспечивается на отход и на приход, поскольку:

|Моб**|** < Мдоп

следовательно, грузовой план, с точки зрения прочности, соответствует требованиям.

**Определение количества разнородного генерального груза графическо-аналитическим способом при загрузке судна пр. 1557. Технология перевозки грузов.**

Вариант №3.

|  |  |
| --- | --- |
| Обязательные грузы | Факультативные грузы |
| Наименование | УПО (ω, м3/т) | Масса, т | Наименование | УПО (ω, м3/т) |
| Железо | 0,4 | 750 | Кожевенное сырье | 4,0 |
| Рельсы | 0,6 | 300 | Стекло | 1,2 |
| Ветошь | 4,8 | 50 |  |  |

Для оптимального использования грузоподъемности и грузовместимости судна, учитывая, что обязательных грузов имеется только 1100 тонн, оно должно погрузить факультативные грузы в количестве 1900 тонн в такой пропорции, чтобы максимально использовать грузовместимость.

В результате построения диаграммы находим, что необходимо погрузить 1420 тонн стекла и 480 тонн кожевенного сырья.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименованиепомещения | Площадьтрюма, м2 | грузовместимостьм3 | Количество груза, т |
| Трюм №1 | 343,3 | 984 | **667** |
| Трюм №2 | 433,6 | 1169 | **792** |
| Трюм №3 | 439,1 | 1179 | **799** |
| Трюм №4 | 400,0 | 1094 | **742** |
| Всего |  | 4426 |  |

Количество груза для каждого трюма подсчитываем по формуле:



где РГ – количество груза для данного грузового помещения, т;

WГ – грузовместимость данного помещения, м3;

Q – количество груза, погружаемого на судно, т;

W – грузовместимость судна, м3.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Помещение | Груз | Вес, т | Объем, м3 | Расчетное количество груза, т | Объем трюма, м3 |
| **Трюм №1** | ветошь | 50 | 240 | 667 | 984 |
| стекло | 503 | 604 |
| сталь | 150 | 120 |
| **Всего:** | **703** | **964** |
| **Трюм №2** | кож. сырье | 160 | 640 | 792 | 1169 |
| стекло | 290 | 349 |
| рельсы | 300 | 180 |
| **Всего:** | **750** | **1169** |
| **Трюм №3** | кож. сырье | 160 | 640 | 799 | 1179 |
| стекло | 349 | 419 |
| сталь | 300 | 120 |
| **Всего:** | **809** | **1179** |
| **Трюм №4** | кож. сырье | 160 | 640 | 742 | 1094 |
| стекло | 278 | 334 |
| сталь | 300 | 120 |
| **Всего:** | **738** | **1094** |
|  | ИТОГО: | **3000** | **4406** | **3000** | **4426** |

**Схема расположения грузов по трюмам**

Трюм №1