**Содержание.**

1. Технико-эксплуатационные характеристики судна. Класс Регистра судоходства России, присвоенный судну
2. Определение водоизмещения и координат центра тяжести судна. Контроль плавучести и остойчивости
3. Расчёт и построение диаграмм статической и динамической остойчивости
4. Определение посадки и остойчивости судна в эксплуатационных условиях
5. Определение резонансных зон бортовой, килевой и вертикальной качки по диаграмме Ю. В. Ремеза

Список использованной литературы

**Часть 1.**

**Технико-эксплуатационные характеристики судна. Класс Регистра судоходства России, присвоенный судну.**

* 1. **Технико-эксплуатационные характеристики судна**

**«АМУР-2526».**

Тип судна – стальное, однопалубное, двухвинтовое грузовое судно, без оседловатости, с двойным дном, с двойными бортами, восемью поперечными переборками, с баком и ютом, машинным отделением, надстройками и рубками, расположенными в корме, с тремя грузовыми трюмами.

Назначение судна – перевозка генеральных и насыпных грузов, включая зерно, уголь и контейнеры. Максимальное количество контейнеров 102 TEU.

Страна приписки – Россия.

Порт приписки – Архангельск.

Судовладелец – АО «Северное речное судоходство».

Построен в августе 1988г. в Чехословакии.

Класс – **КМ🟊ЛЗIIIСП**

Дедвейт – 3148 т. включая 157 т. топлива и 1905 т. водяного балласта.

Скорость судна в полном грузу – 10,0 узлов.

Наибольшая длина – 116,03 м.

Длина между перпендикулярами – 111,2 м.

Ширина – 13,43 м.

Высота борта – 6 м.

Осадка по ЛГВЛ – 4 м.

Водоизмещение по ЛГВЛ – 5025 т.

**Класс регистра судоходства, присвоенный судну: КМ🟊ЛЗIIIСП**

**КМ🟊** - основной символ класса судна, построено под надзором другого, признанного Морским регистром судоходства, классификационного органа, по правилам классификации, а затем судну присвоен класс Морского регистра судоходства.

К - корпус построен по правилам и под надзором Морского Регистра Судоходства

М – механические установки судна построены по правилам и под надзором Морского Регистра Судоходства

**Л3** – знак категории ледового усиления. Означает что судну разрешено самостоятельное плавание по мелко битому льду или же под проводкой ледокола в круглогодично замерзающих морях, в легких ледовых условиях.

**IIIСП** – знак ограничения района плавания. СП - смешанное плавание (река-море). Разрешено плавание в морских районах с максимально допустимой высотой волны 3-х процентной обеспеченности 3,5 м, с учетом конкретных ограничений по району плавания, обусловленными ветроволновыми режимами бассейнов с установлением при этом максимально допустимого удаления от места убежища, которое не должно превышать 50 миль.

Схематический продольный разрез и вид на верхняя палубу судна приведены на Рисунке 1.1.

Рисунок 1.1 – Схематический продольный разрез и вид на верхнюю палубу судна

**Часть 2.**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ И КООРДИНАТ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ СУДНА. КОНТРОЛЬ ПЛАВУЧЕСТИ И ОСТОЙЧИВОСТИ.**

**2.1 Исходные данные:**

Характеристики судна порожнем:

М0=**1873,1**т. (М0 – водоизмещение судна)

ХG0= **-9,34**м. (ХG0 – абсцисса центра тяжести)

ZG0=**5,14**м. (ZG0 – аппликата центра тяжести)

μ =**0,8 м3/т**

**2.2 Определение массы груза в трюмах:**

Количество груза в каждом трюме судна определяется по формуле:

 (2.4)

где υтрi - объем i-го трюма, м3

μ - удельный погрузочный объем груза, м3/т

μ = 0,80 м³/т- удельный погрузочный объем перевозимого в трюмах груза.

***Таблица 2.1 - Характеристики грузовых трюмов судна.***

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование** | **Расположение** | **Допускаемое давление, qдоп , т/м2** | **Площадь****Sтрi,****м2** | **Объем****Vтрi,****м3** | **Координаты ЦТ, м** |
| **Xтр** | **Zтр** |
| Трюм1Трюм2Трюм3 | шп. 26-52шп. 52-98шп. 98-144 | 6,206,206,20 | 145256256 | 87415951595 | 34,1614,63-10,67 | 3,984,034,03 |
| Всего |  |  | 657 | 4064 |  |  |
| Крышки люков |  | 1,75 |  |  |  |  |

Т. к удельный погрузочный объем груза мал, то вычисляем по следующей формуле:

 (2.5)

 - соответственно длина, ширина *i*-го трюма и высота штабеля груза в нем, м; Максимально допустимая высота штабеля для груза с малым удельным погрузочным объемом вычисляется по формуле

  (2.6)

где - максимально допустимая нагрузка на судовое перекрытие, т/м2. Значения  приведены в таблице 2.1

mтр1 = 899 т

mтр2,3 = 1587,2 т

Таблица 2.2 - Расчет водоизмещения и координат центра тяжести судна в эксплуатационном случае нагрузки.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cтатьи нагрузки** | **mi,т** | **xi ,м** | **zi,м** | **mi\*xi, тм** | **mi\*zi, тм** | **δmh, тм** |
| **1. Балласт т. №1** | 0,04 | 50,47 | 0,01 | 2,0188 | 0,0004 | - |
| **2. Балласт т. №2** | 1,50 | 38,92 | 0,04 | 58,38 | 0,06 | - |
| **3. Балласт т. №3** | 0,70 | 34,38 | 0,03 | 24,066 | 0,021 | - |
| **4. Балласт т. №4** | - | 34,38 | - | - |  | - |
| **6. Балласт т. №6** | 2,50 | 14,63 | 0,05 | 36,575 | 0,125 | - |
| **7. Балласт т. №7** | 1,10 | 14,63 | 0,025 | 16,093 | 0,0275 | - |
| **8. Балласт т. №8** | 1,60 | 14,63 | 0,04 | 23,408 | 0,064 | - |
| **9. Балласт т. №9** | 0,90 | -10,67 | 0,01 | -9,603 | 0,009 | - |
| **10. Балласт т. №10** | 1,50 | -10,67 | 0,02 | -16,005 | 0,03 | - |
| **11. Балласт т. №11** | 1,30 | -7,65 | 0,02 | -9,945 | 0,026 | - |
| **17. Балласт т. №17** | 0,20 | -24,54 | 0,01 | -4,908 | 0,002 | - |
| **18. Балласт т. №18** | 0,90 | -25,04 | 0,02 | -22,536 | 0,018 | - |
| **19. Пресная вода** | 15,0 | -20,23 | 0,25 | -303,45 | 3,75 | 65,6 |
| **20. Пресная вода** | 15,0 | -20,23 | 0,25 | -303,45 | 3,75 | 65,6 |
| **21. Дизельное топливо** | 5,00 | -27,45 | 1,2 | -137,25 | 6 | - |
| **22. Дизельное топливо** | 80,0 | -25,94 | 2,55 | -2075,2 | 204 | 8,67 |
| **22а. Дизельное топливо** | 20,0 | -25,80 | 3,40 | -516 | 68 | 140,505 |
| **23. Масло** | 3,00 | -36,24 | 3,80 | -108,72 | 11,4 | 0,54 |
| **24. Подсланевые воды** | 2.24 | - | - | - | - | 0,206 |
| **25. Подсланевые воды** | - | - | - | - | - | 0,206 |
| **26. Подсланевые воды** | - | - | - | - | - | 0,206 |
| **27. Мытьевая вода** | - | - | - | - | - | 1,545 |
| **28. Мытьевая вода** | 10,0 | -26,62 | 0,42 | -266,2 | 4,2 | 36,874 |
| **29. Фекальная цистерна** | 174 | -32,42 | - | - | - | 0,721 |
| **30. Расходная цистерна** | 3,0 | -54,07 | 5,0 | -162,21 | 15 | 0,6 |
| **31. Пресные воды** | - | - | - | - | - |  |
| **32.Трюм 1** | 899 | 34,16 | 3.98 | 30709.84 | 3578.02 | - |
| **33. Трюм 2** | 1587,2 | 14,63 | 4,03 | 23220.8 | 6396,416 | - |
| **34. Трюм 3** | 1587,2 | -10,67 | 4,03 | -16935.4 | 6396,416 | - |
| **Итого** | ***4421*** | ***-195,255*** | ***29,265*** | ***33382,4*** | ***16687,4*** | ***321,273*** |

δmh –поправка на свободную поверхность жидкости в цистерне; учитывается только для цистерн, в которых свободная поверхность распространяется на всю площадь цистерны, т.е. заполненных более чем на одну треть. Если уровень остатков в цистернах составляет 10 см и менее, то поправочные моменты, как правило, могут не вводится, рассчитывается по формуле:

δmh = Ix\*ρ, тм

где Ix – момент инерции поверхности, м4

 ρ – плотность необходимой жидкости, т/м3 (пресная вода -1 т/м3, забортная вода, балласт, подсланевые воды, мытьевые воды, фекальные воды – 1,03 т/м3, масло – 0,9 т/м3, дизельное топливо – 0,85 т/м3)

Водоизмещение, абсцисса и аппликата центра тяжести судна порожнём определяются по формулам:

М = Мо + Σmi (2.1)

**М = 6294,08 т**

**** (2.2)

 **м**

 (2.3)

**м**

Плавучесть считается обеспеченной, если *М*  . Водоизмещение по грузовую марку определено в 1 части курсовой работы (5025т). Т. к плавучесть судна не обеспечена, производим разгрузку трюмов, пропорционально их вместимости.

**2.3 Разгрузка трюмов пропорционально их вместимости.**

# Т. к полученное водоизмещение слишком велико, то производим разгрузку трюмов:

M –M*г.м*=X,

где М - полученное водоизмещение судна; M*г.м* - водоизмещение по грузовую марку

6294,08-5025= 1269,08 т

(Т. к m1=m2, то при расчетах берем 2m2)

 m1+2m2= 1269,08

m1/V1=m2/V2

m1=1269.08-2m2

(1269.08-2m2)/V1=m2/V2

Взяв данные из таблицы а подставляем V1 и V2:

874m2=1595\*1269.08-1595\*2m2

874m2=2024182.6-3190m2

m2=2024182.6/4064

m2=**498 (т)**

m1/874=498/1595 => m1=**272.8 (т)**

Полученные массы разгрузки вычитаем из массы трюмов:

899-272,8=***626,2* (т)** – загрузка 1 трюма

1587,2-498=***1089,2* (т)** – загрузка 2,3 трюма

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Cтатьи нагрузки** | **mi,т** | **xi ,м** | **zi,м** | **mi\*xi, тм** | **mi\*zi, тм** | **δmh, тм** |
| **1. Балласт т. №1** | 0,04 | 50,47 | 0,01 | 2,0188 | 0,0004 | - |
| **2. Балласт т. №2** | 1,50 | 38,92 | 0,04 | 58,38 | 0,06 | - |
| **3. Балласт т. №3** | 0,70 | 34,38 | 0,03 | 24,066 | 0,021 | - |
| **4. Балласт т. №4** | - | 34,38 | - | - |  | - |
| **6. Балласт т. №6** | 2,50 | 14,63 | 0,05 | 36,575 | 0,125 | - |
| **7. Балласт т. №7** | 1,10 | 14,63 | 0,025 | 16,093 | 0,0275 | - |
| **8. Балласт т. №8** | 1,60 | 14,63 | 0,04 | 23,408 | 0,064 | - |
| **9. Балласт т. №9** | 0,90 | -10,67 | 0,01 | -9,603 | 0,009 | - |
| **10. Балласт т. №10** | 1,50 | -10,67 | 0,02 | -16,005 | 0,03 | - |
| **11. Балласт т. №11** | 1,30 | -7,65 | 0,02 | -9,945 | 0,026 | - |
| **17. Балласт т. №17** | 0,20 | -24,54 | 0,01 | -4,908 | 0,002 | - |
| **18. Балласт т. №18** | 0,90 | -25,04 | 0,02 | -22,536 | 0,018 | - |
| **19. Пресная вода** | 15,0 | -20,23 | 0,25 | -303,45 | 3,75 | 65,6 |
| **20. Пресная вода** | 15,0 | -20,23 | 0,25 | -303,45 | 3,75 | 65,6 |
| **21. Дизельное топливо** | 5,00 | -27,45 | 1,2 | -137,25 | 6 | - |
| **22. Дизельное топливо** | 80,0 | -25,94 | 2,55 | -2075,2 | 204 | 8,67 |
| **22а. Дизельное топливо** | 20,0 | -25,80 | 3,40 | -516 | 68 | 140,505 |
| **23. Масло** | 3,00 | -36,24 | 3,80 | -108,72 | 11,4 | 0,54 |
| **24. Подсланевые воды** | 2.24 | - | - | - | - | 0,206 |
| **25. Подсланевые воды** | - | - | - | - | - | 0,206 |
| **26. Подсланевые воды** | - | - | - | - | - | 0,206 |
| **27. Мытьевая вода** | - | - | - | - | - | 1,545 |
| **28. Мытьевая вода** | 10,0 | -26,62 | 0,42 | -266,2 | 4,2 | 36,874 |
| **29. Фекальная цистерна** | 174 | -32,42 | - | - | - | 0,721 |
| **30. Расходная цистерна** | 3,0 | -54,07 | 5,0 | -162,21 | 15 | 0,6 |
| **31. Пресные воды** | - | - | - | - | - |  |
| **32.Трюм 1** | 626,2 | 34,16 | 3.98 | 21391 | 2492,276 | - |
| **33. Трюм 2** | 1089,2 | 14,63 | 4,03 | 15935 | 4389,476 | - |
| **34. Трюм 3** | 1089,2 | -10,67 | 4,03 | - 11621,76 | 4389,476 | - |
| **Итого** | 3151,78 | -195,255 | 29,265 | 22091,5 | 11587,728 | 321,273 |

Используя полученные данные и формулы 2.2 и 2.3 перерасчетаем водоизмещение, абсциссу и аппликату центра тяжести судна порожнём:

М = Мо + Σmi (2.1)

**М = 5024,88 (т)**

**** (2.2)

 **м**

 (2.3)

**м**

2.4 Нахождение поперечной метацентрической высоты для данного случая нагрузки.

Метацентрическая высота вычисляется по формуле:

; (2.6)

где  - аппликата поперечного метацентра находится по гидростатическим таблицам в зависимости от водоизмещения судна в заданном случае нагрузки. При необходимости должна быть сделана интерполяция.

Из таблицы следует, что для моего случая =5,69 м.

Подставляем значение в формулу 2.5:

 м

Исходя из полученного результата и данных в приложении Г, можно судить, что остойчивость судна считается обеспеченной, т. к hрасч.>hmin=0,80 м

**Часть 3.**

**РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММ СТАТИЧЕСКОЙ И**

## **ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ.**

**3.1 Расчет плеч статической и динамической остойчивости.**

Рисунок 3.1 - Пантокарены.

Плечи статической остойчивости диаграммы статической остойчивости определяют с помощью интерполяционных кривых плеч остойчивости формы (пантокарен) , приведенных выше. На пантокаренах проводят вертикаль через точку на оси абсцисс, соответствующую расчетному водоизмещению судна *М*. Точки пересечения вертикали с кривыми для различных углов крена  дают значения плеч остойчивости формы . Далее плечи статической остойчивости вычисляются по формуле:

  (3.1)

### Таблица 3.1 - Расчёт плеч диаграмм статической и динамической остойчивости

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Расчетныевеличины |  |  | углы крена *θ*, градус |
| 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| , м | 0 | 1,0 | 2,0 | 2,82 | 3,53 | 3,92 | 4,2 | 4,2 | 4,0 | 3,7 |
| sin *θ* | 0 | 0,17 | 0,34 | 0,5 | 0,64 | 0,76 | 0,86 | 0,93 | 0,98 | 1 |
| , м | 0 | 0,7293 | 1,458 | 2,145 | 2,745 | 3,260 | 3,689 | 3,989 | 4,20 | 4,29 |
| , м | 0 | **0,2707** | **0,541** | **0,675** | **0,784** | **0,659** | **0,510** | **0,210** | **-0,204** | **-0,59** |
| Интeгpaльныe суммы  | 0 | 0,2707 | 1,082 | 2,299 | 3,758 | 5,202 | 6,372 | 7,093 | 7,099 | 6,305 |
|  | 0 | **0,0236** | **0,094** | **0,200** | **0,328** | **0,453** | **0,555** | **0,618** | **0,619** | **0,549** |

После расчета данных, занесенных в таблицу, составляем график статической и динамической остойчивости:

 Рисунок 3.2 - Диаграмма статической остойчивости.

 Рисунок 3.3 - Диаграмма динамической остойчивости.

**3.2. Проверка параметров диаграммы статической остойчивости**

**на соответствие нормам остойчивости Регистра судоходства**

**России.**

По диаграмме статической остойчивости (Рисунок 3.2) определяем максимальное плечо статической остойчивости *lmax*, соответствующий ему угол крена *θmax* и угол заката диаграммы *θзак* и сравниваем их с требуемыми Регистром.

Регистр требует, чтобы *lmax* было не менее 0,20 м для судов, длина которых не менее 105 м при угле крена *θmax* ≥300. Угол заката диаграммы должен быть не менее 600.

Из Рисунка 3.2 видно, что *lmax*=0,78 м, *θmax*=400, *θзак*=750, значит параметры диаграммы статической остойчивости соответствуют нормам остойчивости Регистра судоходства России.

По диаграмме статической остойчивости (Рисунок 3.2) определяем графическим способом начальную метацентрическую высоту (проводим касательную к графику и восстанавливаем перпендикуляр из точки *θ* =1 рад), которую сравниваем со значением, рассчитанным во 2 части.

*LΘ(θ=1 рад=57,3°)=1,4= h=1,4 м.*

**4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСАДКИ И ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ.**

**4.1 Определение посадки и выполнение контроля остойчивости**

**судна после приёма в промежуточном порту палубного груза.**

Груз размещается на люковых крышках. Высота штабеля равна 2,8 м, ширина равна ширине крышки люка.

Принимаем палубный груз. Так как на судно грузится груз с малым удельным погрузочным объемом (μ=0,8 м3/т) и грузоподъемность использована полностью, то условно считаем, что с судна выгружено в промежуточном порту 100 т груза таким образом, что его центр тяжести не изменился, и принят палубный груз в количестве 100 т.

В нашем случае масса палубного груза: mгр = 100 т

Аппликата центра тяжести принимаемого на палубу груза вычисляется по формуле:

Zгр = H+hkом+1,4 (4.1)

где Н - высота борта судна, H=6 м (см. Часть 1);

hkом - высота комингса люка, определяем по схематическому чертежу судна (Рисунок 1.1) с учетом масштаба по высоте hk=1,3 м , тогда

Zгр=6+1,3+1,4=8,7 м

Абсциссу центра тяжести палубного груза xгр определим из условия, что абсцисса центра тяжести судна не изменилась. Для этого вычтем в формуле (2.7) в числителе момент 100\*Xi, а в знаменателе mгр=100 т, т.е. разгрузим судно (где Xi – это абсцисса центра тяжести 2-го трюма - см. таблицу 1.1).

 (4.2)

м

Xгр=13,5 м

Длину груза определим, учитывая допустимое давление на крышки люков (таблица 2.1). Площадь груза определяется по формулам:

 (4.3)

 (4.4)

где *Sгр, lгр, bгр – соответственно площадь, длина и ширина палубного груза, м;*

*qдоп – допустимое давление на крышки люков (таблица 2.1).*

Получаем:



Так как принимаемый палубный груз малый используем формулу для приёма и снятия малого груза:

****** (4.5 –4.6)

где q - число тонн, изменяющих осадку на 1 см,

q=13,77 т/см (определяется по Приложению Г[1]);

М =5024,88 т, h=1,40 м (см. Часть 2)

d=4 м (см.Часть 1)

δd= 100/13,77=7,26 см = 0,0726 м, тогда

δh=100/(4924,88+100)\*(4+0,0726/2-8,7-1,4)= -0,12 м,

тогда метацентрическая высота судна с палубным грузом будет вычисляться по формуле:

h1 = h + δh (4.7)

где h - метацентрическая высота (см. Часть 2)

h1=1,40+(-0,12)=1,28 м

Изменения осадок носом и кормой при приёме груза находят по формулам:

δdн=tн\*mгр/10

 (4.8)

δdк=tk\* mгр/10

Значения tн и tk определяются с помощью таблицы изменений осадки от приёма 10 т груза (Рисунок 4.1).

Из таблицы Рисунка 4.1 для осадки d = 4 м получаем значения

 tн и tk: tн = 1,2 см и tk = 0,29 см, тогда

**δdн = 1,2\*100/10=12 см**

**δdк = 0,29\*100/10 =2,9 см**

4.2. Определение угла крена судна от неудачно размещённого груза массой mгр=100т с координатой у=-0,50 м.

Если груз размещён неравномерно по ширине, то судно получит статический крен, который определяется формулой:

 (4.9)

где m = 100 т - масса неудачно размещённого груза;

у = - 0,50 м - координата неудачно размещённого груза;

h = 1,40 м - метацентрическая высота (см. Часть 2)

М = 5024,88 т - водоизмещение судна,

X

Z

Рисунок 4.1 – Изменение осадки от принятия/снятия 10 тонн груза

град

Получаем**: *Θ* = -0,410.**

Угол крена в формуле (4.9) получился отрицательным, это значит, что судно имеет крен **на левый борт.**

4.3. Определение статических и динамических углов крена от шквала, создающего кренящий момент Мкрдин= 500 тм, при бортовой качке с амплитудой **Θт=** ±15°

Углы крена определяется с помощью диаграмм статической и динамической остойчивости (Рисунки 4.2 - 4.7)

Плечо кренящего момента находят по формуле:

 (4.10)





*Θ, град*

*lΘ, м*

Рисунок 4.2 - Диаграмма статической остойчивости при отсутствии крена



*lд, м*

*Θ, град*

*Θд*

Рисунок 4.3 - Диаграмма динамической остойчивости при отсутствии крена



*lΘ, м*

*Θст*

*Θ, град*

*Θд*

Рис.3

Рисунок 4.4 - Диаграмма статической остойчивости при крене на наветренный борт



*Θд*

*Θ, град*

*lд, м*

Рисунок 4.5 - Диаграмма динамической остойчивости при крене на наветренный борт.

*Θ*

*Θд*



*lΘ, м*

*Θд*

*Θст*

*Θ, град*

Рисунок 4.6 - Диаграмма статической остойчивости при крене на подветренный борт.



*Θд*

*Θ, град*

*lд, м*

Рисунок 4.7 - Диаграмма динамической остойчивости при крене на подветренный борт.

На диаграмме статической остойчивости динамический угол крена определяют из условия равенства работы восстанавливающего и кренящего моментов. Работа восстанавливающего момента равна площади, ограниченной графиком диаграммы статической остойчивости, осью абсцисс и перпендикуляром к ней, восстановленном из точки *Θд*. Работа кренящего момента равна площади, ограниченной графиком кренящего момента до угла крена *Θд* осью абсцисс. Положение перпендикуляра при *Θд* подбирается таким образом, чтобы площади под диаграммой статической остойчивости и графиком кренящего момента были равны.

По диаграмме динамической остойчивости задача решается следующим образом. На оси абсцисс диаграммы откладывается угол, равный 1 радиану (57,3°), и из полученной точки восстанавливается перпендикуляр. На перпендикуляре откладывается плечо кренящего момента *1динкр*, конец этого отрезка соединяется с началом координат. Абсцисса точки пересечения этой прямой с диаграммой динамической остойчивости соответствует углу динамического крена судна от шквала.

Снимая на диаграммах статической и динамической остойчивости значения статического и динамического углов крена, получаем:

При наличии у судна крена на тихой воде по диаграмме статической остойчивости (Рисунок 4.2) *Θст=*3,50, *Θд* = 70 и по диаграмме динамической остойчивости (Рисунок 4.3) *Θд* = 70.

При крене судна на наветренный борт по диаграмме статической остойчивости (Рисунок 4.4) *Θст=*40, *Θд* = 230 и по диаграмме динамической остойчивости (Рисунок 4.5) *Θд* = 230.

При крене судна на подветренный борт по диаграмме статической остойчивости (Рисунок 4.6) *Θст=*3,70, *Θд*= -9,40 и по диаграмме динамической остойчивости (Рисунок 4.7) *Θд* = -9,40.

Таким образом, можем сделать вывод, что во время шквального ветра динамические углы будут больше в том случае, когда на волнении судно накреняется на наветренный борт. Эта ситуация принимается за расчётную при нормировании их остойчивости.

* 1. **Проверка удовлетворения требований остойчивости судна в**

**соответствии с Правилами Регистра судоходства в случае смещений груза зерна во всех трюмах одновременно.**

а) Рассмотрим первый случай, когда трюма заполнены «под крышки», т.е. высота пустоты в соответствии с Правилами Регистра для данного судна должна приниматься равной 100 мм. В случае полного заполнения трюмов (Рисунок 4.8) условный расчётный угол смещения поверхности зерна принимается равным 150.

 *b*

 ***15о***

 ***100***

 уi

Рисунок 4.8 - Схема перемещения зерна в случае полного заполнения трюма

Расчётный объёмный кренящий момент от поперечного смещения зерна, отнесённый к единице длины грузового помещения, в соответствии с
Правилами Регистра, определяется по формуле:

*МLy = Sпуст . yпуст* (4.11)

где ***Sпуст*** - площадь перемещающейся пустоты, м2;

***yпуст*** - поперечное перемещение пустот, м.

Для вычисления ***Sпуст*** воспользуемся формулой:

***Sпуст1*** = (b2\* tg150)/2 (4.12)

***Sпуст2*** = Bтр . 0,1 (4.13)

где ***Sпуст1*** - начальная площадь пустоты, м2;

***Sпуст2*** - площадь пустоты после смещения, м2;

b - ширина пустоты по крышке люка;

Bтр - ширина трюма, Bтр = 9,9 м (определяется по рисунку 1.1 с учетом масштаба по ширине);

***Sпуст2*** = 9,9\* 0,1 = 0,99 м2

***Sпуст2= Sпуст1***

0,99 = b2/2 \* tg150 = b2/2\*0,27

b2 = 1,01/0,134 = 7,54 м2

b = 2,7 м

Поперечное смещение пустоты *упуст* вычисляется по формуле (из Рисунка 4.8):

*yпуст* = Bтр - Bтр/2 - b/3

*yпуст* = 9,9-9,9/2-2,7/3 = 4,05 м

Используя формулу (4.11), найдём расчётный кренящий момент *MLy*:

*MLy* = 0,99\*4,05= 4,01 м3

Плечо расчётного кренящего момента  определяется по формуле:

******  (4.14)

где М - водоизмещение судна, т (см. Часть 2)

 - длина всех трюмов,  = 61 м (определяется по рисунку 1.1 с учетом масштаба по длине);

*μзерн* - удельный погрузочный объём зернового груза, м3/т;

*k* =1,06 для полностью загруженного трюма, *k* =1,12 для частично загруженного трюма

Удельный погрузочный объём *μ* кукурузы равен 1,4 м3/т

Из формулы (4.12) получаем:

******

Для проверки остойчивости после смещения зерна в обоих случаях на график статической остойчивости (Рисунки 4.9, 4.11) наносят график кренящего момента. График кренящего момента в соответствии с Правилами Регистра судоходства представляется прямой линией, проведенной через точки с координатами *Θ* =00;  и *Θ* =400; . Статический угол крена от смещения зерна определяется по диаграмме статической остойчивости.

Остаточная площадь диаграммы после смещения зерна *Sост* вычисляется по диаграмме статической остойчивости численными методами.



*lΘ, м*

*Θ, град*

Рисунок 4.9 - Диаграмма статической остойчивости в случае полного заполнения трюмов.

Остаточную площадь диаграммы определим из заштрихованного прямоугольного треугольника:

Мейлер Л.Е.

Ляшко Р.А.

 град.м.=0,157 рад.м., что больше чем 0,075 рад.м. (или 4,3 град.м).

б) Рассмотрим второй случай, когда предусматривается частичное заполнение трюмов. В случае частичной загрузки трюмов (Рисунок 4.10) условный расчётный угол смещения поверхности зерна принимается равным 250.

Расчётный объёмный кренящий момент от поперечного смещения зерна, отнесённый к единице длины грузового помещения, в соответствии с Правилами Регистра, определяется по формуле (4.11)

Для вычисления ***Sпуст*** воспользуемся формулой:

***Sпуст*** = (B2тр\*tg250)/8 (4.15)

где ***Sпуст*** - площадь пустоты после смещения, м2

Bтр - ширина трюма, Bтр = 9,9 м

 ***Sпуст*** =9,92/8\*0,466 = 5,71 м2.

Рисунок 4.10 - Схема перемещения зерна в случае частичного заполнения трюма.

Поперечное смещение пустоты *упуст* вычисляется по формуле (из Рисунка 4.10):

*упуст* = Bтр- Bтр/6- Bтр/6

*упуст* = 9,9-9,9/6-9,9/6 = 6,6 м

Используя формулу (4.9), найдём расчётный кренящий момент *MLy*:

*MLy* = 5,71\*6,6=37,69 м3

Плечо расчётного кренящего момента определяется по формуле (4.14)

******

*lΘ, м*

*Θ, град*

##### Рисунок 4.11 - Диаграмма статической остойчивости в случае частичного заполнения трюмов

Остаточную площадь диаграммы определим из заштрихованного прямоугольного треугольника:

 град.м. =0,051 рад.м., что меньше чем 0,075 рад.м. (или 4,3 град.м.).

*Проверка требований остойчивости судна в соответствии с Правилами Регистра судоходства:*

 Согласно «Международного зернового кодекса» и отечественным правилам перевозки зерна характеристики остойчивости судна, после смещения зерна, должны удовлетворять следующим требованиям:

1. угол статического крена судна *θд* от смещения зерна не должен превышать 12° или угла входа палубы в воду *θd*, если он меньше 12°.
2. остаточная площадь *Sост* диаграммы статической остойчивости между кривыми восстанавливающих и кренящих плеч до угла крена, соответствующего максимальной разности между ординатами двух кривых *θmax* или 40°, или угла заливания *θзал* в зависимости от того, какой из них меньше, при всех условиях загрузки должна быть не менее 0,075 м. рад.

У судов типа «Амур» угол заливания равен *θзал* = 29,12о.

В случае полного заполнения трюмов угол статического крена судна *Θст* равен 1,20, а это меньше 120. Остаточная площадь диаграммы статической остойчивости приблизительно равна 0,19 рад.м., что больше 0,075 рад.м.

Следовательно, можно сделать вывод, что в случае полного заполнения трюмов характеристики остойчивости судна после смещения зерна удовлетворяют всем требованиям.

В случае частичной загрузки трюмов угол статического крена судна *Θд* равен 12,70, а это больше 120. Остаточная площадь диаграммы статической остойчивости приблизительно равна 0,051 м.рад, что меньше 0,075 м.рад.

Тогда, делаем вывод, что в случае частичного заполнения трюмов характеристики остойчивости судна после смещения зерна не удовлетворяют всем требованиям.

**5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЗОНАНСНЫХ ЗОН БОРТОВОЙ, КИЛЕВОЙ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ КАЧКИ С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОЙ**

**ДИАГРАММЫ Ю.В. РЕМЕЗА.**

* 1. **Определение периодов собственных бортовых, килевых и**

**вертикальных колебаний судна в заданном случае нагрузки.**

Значительное возрастание амплитуд бортовых и килевых колебаний судна наблюдается на нерегулярном волнении при совпадении среднего кажущегося периода волн и периода бортовой, килевой или вертикальной качки.

Собственные периоды различных видов качки определяются по формулам

* - для бортовой качки;* (5.1)

* - для килевой и вертикальной качки*  (5.2)

где Тθ, Тψ, Тζ - периоды бортовой, килевой и вертикальной качки

соответственно, с;

В - ширина судна; В = 13,43 м (см. Часть 1);

d - осадка судна; d = 4 м (см. Часть 1);

с - инерционный коэффициент судна; с = 0,8 с/м1/2

h - метацентрическая высота судна; h = 1,40 м (см. Часть 2)

Тогда, используя формулу (5.1), найдём период бортовой качки:

******, Тθ = 9,08 с

Используя формулу (5.2), найдём период килевой и вертикальной качки:

Тψ = Тζ = 2,4**.**41/2 = 4,8 с

5.2. Определение резонансных сочетаний курсовых углов и скоростей судна для бортовой и килевой качки при волнении с интенсивностью 4 и 6 баллов.

Найдём расчётную длину волны по формуле:

****** (5.3)

где *τо* - средний период нерегулярных волн, c;

*kλ*- коэффициент, учитывающий степень нерегулярности волнения;

*kλ* принимается kλ = 0,78.

 Период *τо* может быть вычислен по следующей формуле:

  (5.4)

где ***h3%*** *- определяется по шкале Бофорта.*

###### Расчет производится для волн, высота которых соответствует 4 и 6

балльному волнению.

При 4-х балльном волнении высота волны **h3%=1,625 м**

При 6-ти балльном волнении высота волны **h3%=4,75 м**

Тогда по формуле (5.4)

**τо = 3,1 . 1,6251/2 = 3,95 с**

**τо = 3,10 . 4,751/2 = 6,75 с**

Подставляя в формулу (5.3), полученные значения τо, найдём расчётную длину волны

**λ = 1,56. 0,78. 3,952 = 18,98 м -** при 4-х балльном волнении

**λ = 1,56. 0,78. 6,752 = 55,44 м -** при 6-ти балльном волнении

Резонансные зоны для каждого вида качки определяются по диаграмме Ю.В.Ремеза (Рисунки 5.1-5.4) в следующей последовательности. Откладываем расчетную длины волны на оси ординат и через нее проводим горизонталь до пересечения с границами интервалов.

Тθ1=0,7 Тθ ; Tθ2=1,3 Tθ

Тψ1=0,7 Тψ; Tψ2=1,3 Tψ

Таким образом:

Для бортовой качки граница определяется

 Тθ1= 0,7 . 9,08 = 6,36 с

 Тθ2= 1,3 . 9,08 = 11,8 с

Для килевой качки граница определяется

 Тψ1= 0,7 . 4,8=3,76 с

 Тψ2= 1,3 . 4,8=6,24 с

Из точек пересечения проводят вертикальные линии до границы, соответствующей максимальной скорости судка в нижней части диаграммы (10 узлов).

Зона, ограниченная вертикальными линиями и полукруглой частью диаграммы, представляет область сочетаний скоростей и курсовых углов судна, неблагоприятных в отношении указанных видов качки.

При анализе и использовании этих расчетов следует помнить, что при курсовых углах (0° < q <12° (встречное волнение) и 168°< q < 180° (попутное волнение) даже в условиях резонанса амплитуды бортовой качки будут незначительны. Поэтому эти диапазоны курсовых углов можно не относить к опасным.

Аналогичным образом из резонансной зоны для килевой качки можно исключить курсовые углы 78° < q < 102°.

**6. Литература.**

1. Гуральник Б.С., Мейлер Л.Е. «Оценка посадки, остойчивости и поведения судна в процессе эксплуатации». Методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине «Основы теории судна» для курсантов дневной и заочной формы обучения по специальности 240100 “Организация перевозок и управление на транспорте”. – Калининград, БГА РФ, 2003 г. – 28 с.
2. Кулагин В.Д. Теория и устройство промысловых судов: Учебник
для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Судостроение, 1986. - 392 с.
3. Правила классификации и постройки морских судов: В 2-х т.- СПб.: Морской Регистр судоходства, 1995 г.
4. Б.М. Яворский, Ю.А. Селезнев «Справочное руководство по физике». – М.: Наука, 1982. – 620 с.