

А.Н. Крылов

Теория корабля

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 656
ББК 39.1
А11

A11 **А.Н. Крылов**
Теория корабля / А.Н. Крылов – М.: Книга по Требованию, 2013. – 217 с.

ISBN 978-5-458-53385-0

ISBN 978-5-458-53385-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ТЕОРІЯ КОРАБЛЯ

Введеніє.

§ 1. Теорія корабля имѣеть предметомъ изученія мореходныя его качества, т. е. плавучесть, остойчивость, ходкость, плавность качки на волненіи и поворотливость.

Это изученіє должно состоять прежде всего въ установленіи тѣхъ элементовъ, которыми эти качества опредѣляются и которые служатъ для нихъ мѣроу. Установленіє такой мѣры дастъ не только возможность выражать соотвѣтствующее качество корабля числомъ, но и искать его зависимость отъ размѣровъ корабля, формы его обводовъ, распредѣленія на немъ грузовъ и т. п., а значить и распоряжаться при составленіи проекта корабля этими размѣрами, формою и распредѣленіемъ грузовъ такъ, чтобы обезпечить кораблю надлежащія по роду его назначенія мореходныя качества.

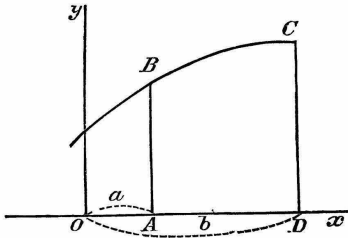
При такомъ изученіи будетъ постоянно встрѣчаться надобность вычислять: площади ограниченныя кривыми линіями, координаты центра тяжести такихъ площадей, объемы ограниченныя кривыми поверхностями, положеніє центра тяжести такихъ объемовъ, моменты инерціи и т. п., поэтому сперва надо ознакомиться съ общими способами такихъ вычисленій, что и составляетъ введеніє къ нашему курсу.

§ 2. Вычисленіє площадей, объемовъ, положенія ихъ центра тяжести и проч. сводится къ нахожденію нѣкоторыхъ опредѣленныхъ интеграловъ, которые мы сперва и приведемъ, а затѣмъ покажемъ общіє приемы вычисленія численной величины любого такого опредѣленнаго интеграла независимо отъ того, что онъ собою представляетъ.

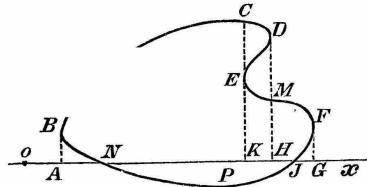
Вычисленіє площади ограниченной какой угодно сомкнутою кривою приводится къ вычисленію такъ называемыхъ простыхъ площадей. Простую площадью называется площадь (фиг 1), ограниченная двумя ординатами AB и CD , частью оси абсциссъ AD и кривою BC .

Длину AD называютъ основаніемъ этой площади Въ частномъ случаѣ одна изъ крайнихъ ординатъ AB или CD или даже обѣ могутъ быть равны и нулю, площадь отъ этого не перестаетъ быть простою.

Если дана какая нибудь кривая, то чтобы привести вычисленіе площади ея ограниченной къ вычисленію простыхъ площадей поступаютъ такъ: проводятъ прямую ox (фиг. 2), которую принимаютъ за ось абсциссъ, затѣмъ проводятъ къ кривой касательныя перпендикулярныя къ ox ; пусть эти касательныя будутъ AB , DH , EK , FG , тогда легко видѣть, что предложенная площадь, ограниченная кривою $BCDEFIN$



Фиг. 1.



Фиг. 2.

можетъ быть представлена въ видѣ слѣдующей алгебраической суммы простыхъ площадей:

$$\begin{aligned} \text{пл. } BCDEFIN &= \text{пл. } ABCK - \text{пл. } ABN + \text{пл. } KCDH \\ &- \text{пл. } KEDH + \text{пл. } KEMH + \text{пл. } HMFH \\ &- \text{пл. } IFG + \text{пл. } IPN \end{aligned}$$

Остается показать какимъ образомъ вычисляется простая площадь. Пусть данная площадь есть $ABCD$, (фиг. 1) и уравненіе кривой BC есть $y = f(x)$, то, какъ извѣстно площадь $ABCD$ выражается слѣдующимъ опредѣленнымъ интеграломъ:

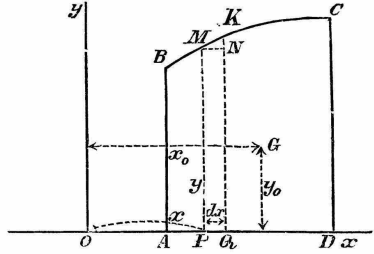
$$\text{пл. } ABCD = S = \int_a^b y dx = \int_a^b f(x) dx \quad (1)$$

гдѣ a есть абсцисса точки B , и b абсцисса точки C

Во многихъ случаяхъ практики функція $f(x)$ не задается аналитически. т. е. уравненіе кривой BC не будетъ извѣстно, а эта кривая будетъ задана на чертежѣ, съ котораго и можно снять ординату. соответствующую любой данной абсциссѣ, что и выражаютъ тогда знакомъ положеніемъ $y = f(x)$.

§ 3. Вычисленіе положенія центра тяжести простой площади сводится также къ нахожденію простых опредѣленныхъ интеграловъ.

Какъ извѣстно абсцисса X_0 центра тяжести площади $ABCD$ получается, если моментъ этой площади относительно оси oy раздѣлить на самую площадь. Разбивъ основаніе площади AD на безконечно малыя части, такія какъ PQ , и проведя черезъ точки дѣленія ординаты, мы разобьемъ самую площадь на безконечно малыя площадки, такія какъ $PMKQ$, которыя отличаются лишь на безконечно малыя величины вышшихъ порядковъ, отъ соответствующаго каждой изъ нихъ прямоугольника, такого какъ $PMNQ$. Площадь $ABCD = S$ есть предѣлъ суммы площадей сказанныхъ безконечно-малыхъ прямоугольниковъ, моментъ этой площади есть предѣлъ суммы моментовъ площадей всѣхъ этихъ прямоугольниковъ. Моментъ же площади прямоугольника $PMNQ$ при сдѣланныхъ на чертежѣ (фиг. 3) обозначеніяхъ выражается такъ:



Фиг. 3.

$$\begin{aligned} \text{Мом. пл. } PMNQ &= \text{пл. } PMNQ \left(x + \frac{1}{2} dx \right) = \\ &= y \cdot dx \cdot \left(x + \frac{1}{2} dx \right) = yx dx + \frac{1}{2} y dx^2. \end{aligned}$$

Послѣдній членъ представляетъ собою безконечно малую величину второго порядка по отношенію къ dx ; и, слѣдовательно, при розысканіи предѣла суммы, не измѣняя этого предѣла, можетъ быть отброшенъ, и мы такимъ образомъ получимъ:

$$\text{Мом. пл. } ABCD = S \cdot X_0 = \int_a^b yx dx$$

откуда

$$X_0 = \frac{\int_a^b yx dx}{S} \quad (2)$$

Чтобы найти ординату центра тяжести Y_0 надо взять моментъ данной площади относительно оси ox и раздѣлить на самую площадь.

Совершенно такъ же какъ и выше этотъ моментъ будетъ предста-

влять собою предѣлъ суммы моментовъ такихъ безконечно малыхъ площадей какъ $PMNQ$, который, очевидно, выражается такъ:

$$\text{Мом. пл. } PMNQ = ydx \cdot \frac{1}{2}y = \frac{1}{2}y^2 dx$$

слѣдовательно,

$$\text{мом. пл. } ABCD = S \cdot Y_0 = \frac{1}{2} \int_a^b y^2 dx,$$

откуда

$$Y_0 = \frac{\frac{1}{2} \int_a^b y^2 dx}{S} \quad \dots \quad / \quad (3)$$

Когда предложенная площадь не простая, то разбивъ ее на простыя и вычисливъ въ отдѣльности координаты центра тяжести каждой изъ этихъ послѣднихъ, найдемъ по слѣдующимъ формуламъ и координаты центра тяжести заданной площади. Пусть $s_1, s_2, s_3, \dots s_k$ суть тѣ простыя площади, на алгебраическую сумму коихъ данная площадь S разбита, и пусть $x_1y_1, x_2y_2, \dots x_ky_k$, суть координаты ихъ центровъ тяжести и X_0, Y_0 координаты центра тяжести площади S , и положимъ, что S представляется слѣдующею алгебраической суммой:

$$S = s_1 + s_2 - s_3 + \dots + s_k.$$

Чтобы получить координаты X_0 и Y_0 центра тяжести площади S , стоитъ только воспользоваться извѣстной изъ механики теоремой моментовъ, согласно которой моментъ всей площади S равенъ алгебраической суммѣ моментовъ отдѣльныхъ площадей ее составляющихъ. Для полученія X_0 беремъ моменты относительно координатной плоскости ZY или, что въ нашемъ случаѣ тоже, относительно оси OY , тогда будетъ:

$$SX_0 = s_1x_1 + s_2x_2 - s_3x_3 + \dots + s_kx_k$$

откуда слѣдуетъ:

$$X_0 = \frac{s_1x_1 + s_2x_2 - s_3x_3 + \dots + s_kx_k}{S} \quad \dots \quad (4)$$

Точно также взявъ для полученія Y_0 моменты относительно оси OX получимъ:

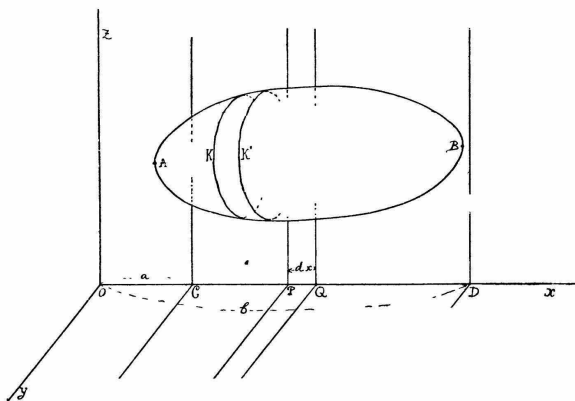
$$Y_0 = \frac{s_1y_1 + s_2y_2 - s_3y_3 + \dots + s_ky_k}{S} \quad \dots \quad (5)$$

При вычисленіи по этимъ формуламъ надо обращать вниманіе на знаки координатъ, поступая по правиламъ алгебры.

§ 4. Вычисленіе объема ограниченного кривою поверхностью можетъ быть также приведено къ вычисленію простыхъ опредѣленныхъ интеграловъ.

Пусть данъ объемъ V ограниченный какою-нибудь замкнутою поверхностью (фиг. 4).

Проведя къ этой поверхности касательныя плоскости параллельныя плоскости zoy , мы получимъ абсциссы a и b крайнихъ точекъ этой поверхности; раздѣливъ отръзокъ CD на безконечно-малыя части и про-



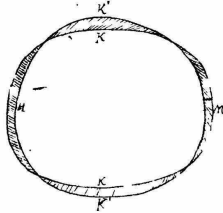
Фиг. 4.

ведя черезъ точки дѣленія плоскости параллельныя zoy , мы разсѣмъ данный объемъ на безконечно тонкіе слои, такіе какъ указанный на чертежѣ (4). Каждый изъ этихъ слоевъ ограниченъ двумя плоскостями и заключенною между ними частью поверхности. Эта поверхность пересѣкается съ сказанными плоскостями по кривымъ K и K' .

Вообразимъ, что изъ всѣхъ точекъ кривой K проведены прямыя параллельныя оси X до пересѣченія ихъ съ плоскостью Q , тогда получится прямой цилиндръ съ основаніемъ K и высотой PQ , и въ сѣченіи этого цилиндра съ плоскостью Q получится кривая равная K . Совершенно также взявъ кривую K' и построивъ соотвѣтственно ей цилиндръ до пересѣченія съ плоскостью P , мы и на этой плоскости получимъ ту же фигуру, что и на плоскости Q . Такимъ образомъ на каждой изъ этихъ плоскостей получается двѣ кривыя: K и K' (фиг. 5).

Очевидно, что рассматриваемый слой будетъ заключаться внутри цилиндра коего основаніе есть кривая $NK'MK'$, цилиндръ же съ основа-

нiемъ $KHKG$ будетъ весь заключаться внутри слоя. Въ предѣлѣ, когда разстоянiе PQ обращается въ нуль, обѣ кривыя K и K' , сливаются въ одну, значитъ заштрихованная на чертежѣ (фиг. 5) площадь обращается



Фиг. 5.

въ предѣлѣ въ нуль и, слѣдовательно, есть бесконечно малая. Такъ какъ высота PQ разсматриваемыхъ цилиндровъ и слоя есть также бесконечно-малая, то объемъ слоя отличается отъ объема каждаго изъ этихъ цилиндровъ, а значитъ и отъ объема цилиндра съ основанiемъ K , на бесконечно-малыя величины высшихъ порядковъ, и при разысканiи предѣла суммы, можно эти бесконечно малыя высшихъ порядковъ отбрасывать и разсматривать заданный

объемъ какъ предѣлъ суммы объемовъ цилиндровъ съ основанiемъ K .

Обозначимъ черезъ ω площадь кривой K соотвѣтствующей плоскости P , абсцисса коей есть x , очевидно, что ω будетъ нѣкоторой функцией отъ x . Пусть

$$\omega = F(x)$$

тогда объемъ сказаннаго цилиндра съ основанiемъ ω будетъ: $\omega \cdot dx$ и предѣлъ суммы такихъ объемовъ будетъ выражаться интеграломъ $\int_a^b \omega dx$, и мы получимъ формулу:

$$V = \int_a^b \omega dx = \int_a^b F(x) dx \quad (6)$$

гдѣ $\omega = F(x)$ есть площадь сѣченiя соотвѣтствующаго абсциссѣ x . Такимъ образомъ вычисленiе объема приводится къ вычисленiю площадей сѣченiя, и затѣмъ опредѣленнаго интеграла (6)

§ 5. Вычисленiе положенiя центра тяжести объема. Чтобы найти абсциссу X_0 центра тяжести объема V , стоитъ только разсуждать подобно тому, какъ было сдѣлано для площадей, беря моменты относительно плоскости zoy ; тогда получится слѣдующая формула:

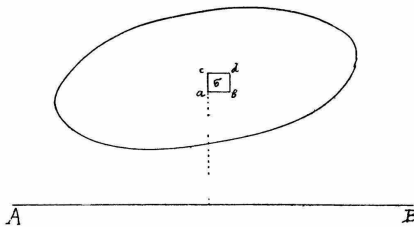
$$X_0 = \frac{\int_a^b \omega x dx}{V} \quad . . . (7)$$

Чтобы вычислить координату Y_0 центра тяжести разсматриваемаго объема надо разсѣкать его плоскостями параллельными плоскости zox совершенно подобно тому какъ мы сдѣлали выше. Обозначая черезъ

Намъ придется имѣть дѣло съ моментами инерціи площадей, поэтому покажемъ нѣкоторые простѣйшія ихъ свойства.

Пусть дана площадь S и ось AB (чертежъ 6), разобьемъ нашу площадь на элементы, такіе какъ σ и положимъ, что бы будемъ увеличивать неопредѣленно число этихъ элементовъ, уменьшая въ то же время ихъ величину; тогда будетъ площ. $S = \sum \sigma$, разумѣя подъ знакомъ $\sum$ — сумму всѣхъ элементовъ. подъ этимъ знакомъ стоящихъ.

Моментъ инерціи площади получится, взявъ сумму произведеній $\sigma \cdot r^2$, гдѣ r — разстояніе отъ σ до оси. Здѣсь является сомнѣніе, что разу-



Фиг. 6.

мѣть подъ словомъ «разстояніе элемента σ до оси AB ». Разстояніе всегда мѣняется отъ какой-либо точки, элементъ же площади σ будетъ заключать въ себѣ безчисленное множество точекъ; но эти точки будутъ всѣ между собою сколь угодно близки при уменьшеніи элемента σ . Покажемъ во-первыхъ, что безразлично, которую изъ

нихъ ни взять. Очевидно, что если взять какую-нибудь точку на ближайшей къ оси сторонѣ элемента ab и обозначить это разстояніе черезъ ρ , и затѣмъ взять точку на сторонѣ cd элемента, то разстояніе до нея будетъ $\rho + \epsilon$, гдѣ $\epsilon = ac$; разстояніе же r отъ всякой промежуточной точки будетъ заключаться между этими двумя ρ и $(\rho + \epsilon)$

Слѣдовательно будетъ:

$$\sum \sigma \rho^2 < \sum \sigma r^2 < \sum \sigma (\rho + \epsilon)^2,$$

причемъ эти неравенства будутъ имѣть мѣсто при всякомъ числѣ и всякой величинѣ элементовъ σ . Изъ предыдущаго неравенства очевидно слѣдуетъ такое:

$$\sum \sigma r^2 - \sum \sigma \rho^2 < \sum \sigma (\rho + \epsilon^2) - \sum \sigma \rho^2. \quad . \quad . \quad (*)$$

Но

$$\sum \sigma (\rho + \epsilon)^2 = \sum \sigma (\rho^2 + 2\rho\epsilon + \epsilon^2) = \sum \sigma \rho^2 + 2\epsilon \cdot \sum \sigma \rho + \epsilon^2 \sum \sigma$$

и, слѣдовательно:

$$\sum \sigma (\rho + \epsilon)^2 - \sum \sigma \rho^2 = 2\epsilon \sum \sigma \rho + \epsilon^2 \cdot \sum \sigma.$$

Величина $\sum \sigma$ представляетъ собою самую площадь S : величина $\sum \sigma \rho$ при неопредѣленномъ увеличеніи числа элементовъ, представляю-

щая собою сумму моментов площадок σ относительно AB , равна моменту всей площади относительно этой оси, т. е. произведению из S на величину k ,—разстояніе от центра тяжести площади до оси. Итакъ, въ предѣлѣ, когда величина площадок σ будетъ неопредѣленно убывать, а число ихъ неопредѣленно увеличиваться, величина ε обращается въ нуль значить будетъ:

$$\text{пред. } \Sigma \sigma (\rho + \varepsilon)^2 = \text{пред. } \Sigma \sigma \rho^2 = 0.$$

въ силу же формулы (*) отсюда слѣдуетъ, что

$$\text{пред. } \Sigma \sigma r^2 = \text{пред. } \Sigma \sigma \rho^2 = 0,$$

иначе

$$\text{пред. } \Sigma \sigma r^2 = \text{пред. } \Sigma \sigma \rho^2 = \text{пред. } \Sigma \sigma (\rho + \varepsilon^2).$$

Такимъ образомъ мы видимъ, что при составленіи того предѣла суммы, которымъ представляется моментъ инерціи площади, безразлично до какой точки элемента считать разстояніе, лишь бы величина этого элемента неопредѣленно уменьшалась; мы будемъ всегда брать разстояніе до ближайшей къ оси точки.

Покажемъ теперь соотношеніе между моментами инерціи относительно двухъ параллельныхъ осей, изъ которыхъ одна проведена черезъ центръ тяжести площади. Пусть AB —такая ось и k —разстояніе

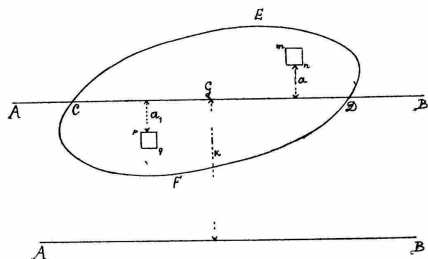
между осями; обозначимъ черезъ J_0 моментъ инерціи относительно оси AB и черезъ J_1 — моментъ инерціи относительно A_1B_1 ,

Осью AB площадь F раздѣляется на двѣ части CED и CFD (фиг. 7).

Разстоянія элементовъ площади CDE до оси AB будемъ обозначать черезъ a , разстоянія же элементовъ площади CFD —черезъ a_1 ; разстоянія же до оси A_1B_1 будемъ обозначать черезъ r . Тогда очевидно будетъ:

$$\begin{array}{ll} \text{Для } CDE & r = a + k \\ \text{» } CFD & r = k - a_1 \end{array}$$

Условимся также обозначать черезъ Σ_1 сумму относящуюся до всѣхъ элементовъ площади CDE и черезъ Σ_2 сумму относящуюся до всѣхъ элементовъ площади CFD .



Фиг. 7.

Тогда будемъ имѣть слѣдующее выраженіе момента инерціи J_1 всей площади $CEDF$ относительно оси A_1B_1 :

$$J_1 = \Sigma \sigma r^2 = \Sigma_1 \sigma r^2 + \Sigma_2 \sigma r^2 = \Sigma_1 \sigma (a + k)^2 + \Sigma_2 \sigma (k - a_1)^2 = \\ = \Sigma_1 \sigma (a^2 + 2ak + k^2) + \Sigma_2 \sigma (k^2 - 2a_1k + a_1^2).$$

Такъ какъ величина k постоянная: то предыдущее равенство мы можемъ написать такъ:

$$J_1 = k^2 (\Sigma \sigma_1 + \Sigma_2 \sigma) + 2k (\Sigma_1 a \sigma - \Sigma_2 a_1 \sigma) + (\Sigma_1 \sigma a^2 + \Sigma_2 \sigma a_1^2).$$

Очевидно, что $\Sigma_1 \sigma + \Sigma_2 \sigma$ есть ничто иное какъ вся площадь S ; $\Sigma_1 a \sigma$ представляетъ собою статическій моментъ площади CED относительно оси AB , сумма $\Sigma_2 a_1 \sigma$ — моментъ площади CFD относительно той же оси AB , а такъ какъ эта ось проходитъ черезъ центръ тяжести всей площади $CEDF$, то $\Sigma_1 a \sigma - \Sigma_2 a_1 \sigma = 0$, наконецъ, $\Sigma_1 \sigma a^2 + \Sigma_2 \sigma a_1^2$ представляетъ собою моментъ инерціи площади $CEDF$ относительно оси AB , который мы обозначили черезъ J_0 . Такимъ образомъ имѣемъ формулу:

$$J_1 = J_0 + k^2 S. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

т. е. что моментъ инерціи площади S относительно оси A_1B_1 равенъ моменту инерціи той же площади относительно оси AB , параллельной данной и проходящей черезъ центръ тяжести площади, плюсъ произведение изъ величины площади на квадратъ разстоянія между осями.

Отсюда видно, что для данной площади и данного направленія оси. тотъ моментъ инерціи будетъ наименьшій, для котораго ось проходитъ черезъ центръ тяжести площади. Вмѣстѣ съ тѣмъ эта теорема приводитъ вычисленіе момента инерціи площади относительно какой-либо оси къ вычисленію момента инерціи той же площади относительно оси параллельной первой и проходящей черезъ центръ тяжести площади.

§ 7. Вычисленіе моментовъ инерціи площадей. Для вычисленія момента инерціи какой-либо площади слѣдуетъ поступать такъ: принявъ заданную ось за одну изъ осей координатъ, на примѣръ, за ось x , разбить данную площадь на алгебраическую сумму простыхъ площадей. и для каждой изъ нихъ вычислить моментъ инерціи относительно разсматриваемой оси. Моментъ инерціи всей площади будетъ, очевидно, равенъ алгебраической суммѣ моментовъ инерціи тѣхъ простыхъ площадей, на которыя разбита данная площадь.

Остается показать какъ выражается моментъ инерціи простой площади относительно оси x .