

И.Г. Ханович

Теория корабля
Гидродинамика и сопротивление воды

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 53
ББК 22.3
И11

И11 **И.Г. Ханович**
Теория корабля: Гидродинамика и сопротивление воды / И.Г. Ханович – М.: Книга по Требованию, 2013. – 548 с.

ISBN 978-5-458-58153-0

ISBN 978-5-458-58153-0

© 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 первоизданном 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.

ОТДЕЛ I

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ФИЗИЧЕСКОГО ПОЛЯ

ГЛАВА I

ФИЗИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ. КРИТЕРИЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ФИЗИЧНОСТЬ СКАЛЯРА ИЛИ ВЕКТОРА

В различных разделах рациональной механики и математической физики мы постоянно оперируем с представлениями о некоторых физических величинах, являющихся объектами рассматриваемых исследований.

В связи с изучением основ теории физического поля здесь уместно напомнить общую особенность всех физических величин, являющуюся в силу своего фундаментального значения основным критерием физичности скаляра или вектора: физическая величина не изменяется от преобразования координатной системы.

Последнее положение для физического вектора обеспечивается в том только случае, если проекции его на координатные оси при изменении координатной системы преобразуются по тем же формулам, что и сами координаты.

Поясним последнее на примере преобразования прямоугольной декартовой системы $Oxyz$ в $Ox'y'z'$ (рис. 1).

Обозначим проекции радиуса-вектора $\vec{r}$ произвольной точки M на координатные оси соответственно:

$$x, y, z \text{ и } x', y', z'.$$

Тогда, очевидно,

$$\bar{x} + \bar{y} + \bar{z} = \bar{x}' + \bar{y}' + \bar{z}', \quad (1)$$

Проектируя обе части последнего равенства последовательно на оси x', y', z' и воспользовавшись обозначениями косинусов углов между соответствующими осями по схеме, представленной в таблице:

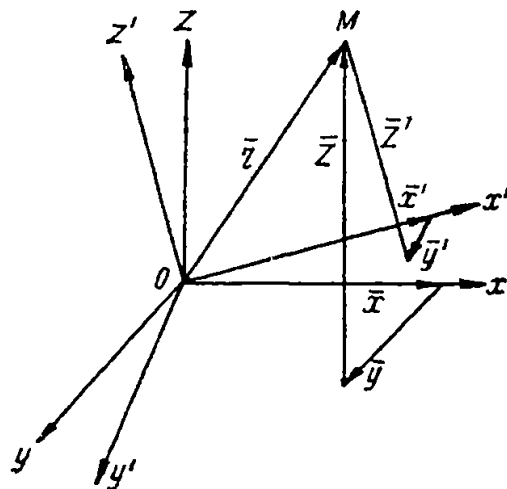


Рис. 1. Преобразование координат при переходе от одной прямоугольной декартовой системы $Oxyz$ к другой — $Ox'y'z'$.

Старые оси \ Новые оси	x	y	z
x'	α_{xx}	α_{yx}	α_{zx}
y'	α_{xy}	α_{yy}	α_{zy}
z'	α_{xz}	α_{yz}	α_{zz}

получим соотношения

$$\left. \begin{aligned} x' &= \alpha_{xx} \cdot x + \alpha_{yx} \cdot y + \alpha_{zx} \cdot z \\ y' &= \alpha_{xy} \cdot x + \alpha_{yy} \cdot y + \alpha_{zy} \cdot z \\ z' &= \alpha_{xz} \cdot x + \alpha_{yz} \cdot y + \alpha_{zz} \cdot z \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

известные, как формулы преобразования прямоугольной системы координат.

Рассмотрим теперь вектор $\vec{a}$ (рис. 2), характеризующий какую-

либо индивидуальную физическую особенность частицы M (вектор $\vec{a}$ может быть перемещением, скоростью или ускорением частицы и т. д.).

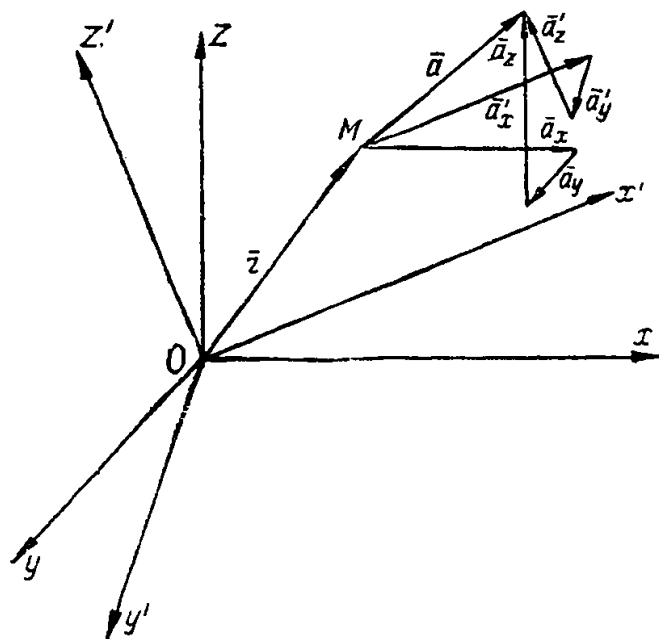


Рис. 2. Преобразование проекций вектора $\vec{a}$ при переходе от одной прямоугольной декартовой системы $Oxyz$ к другой — $Ox'y'z'$.

Очевидно, что взаимное положение вектора $\vec{a}$ и других физических векторов поля, так же как и взаимное положение векторов $\vec{a}$ и $\vec{r}$ (последнее — в случае неизменности начала координат¹⁾), не может зависеть от выбора координатной системы.

Обозначим проекции вектора $\vec{a}$ на координатные оси соответственно

$$a_x, a_y, a_z \text{ и } a_{x'}, a_{y'}, a_{z'}.$$

Путем, аналогичным предыдущему, из равенства:

$$\begin{aligned} \vec{a}_x + \vec{a}_y + \vec{a}_z &= \\ &= \vec{a}_{x'} + \vec{a}_{y'} + \vec{a}_{z'} \end{aligned} \quad (3)$$

получим:

$$\left. \begin{aligned} a_{x'} &= \alpha_{xx} \cdot a_x + \alpha_{yx} \cdot a_y + \alpha_{zx} \cdot a_z \\ a_{y'} &= \alpha_{xy} \cdot a_x + \alpha_{yy} \cdot a_y + \alpha_{zy} \cdot a_z \\ a_{z'} &= \alpha_{xz} \cdot a_x + \alpha_{yz} \cdot a_y + \alpha_{zz} \cdot a_z \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Последние соотношения были бы нарушены, если бы в процессе преобразования координат изменилась величина вектора $\vec{a}$ или относительное положение векторов $\vec{a}$ и $\vec{r}$.

В связи с этим, равенство (3) можно рассматривать, как следствие инвариантности физической величины $\vec{a}$ по отношению к координат-

¹⁾ При неизменности начала координат $\vec{r}$ можно рассматривать, как физический вектор, определяющий относительное положение двух фиксированных точек пространства O и M .

ной системе, а соотношения (4) трактовать, как свидетельство ковариантности проекций физического вектора и координат.

Для скалярной величины Φ (температуры частицы, плотности жидкости и т. д.) критерий физичности ее представляется соотношением:

$$\Phi = f(x, y, z) = f'(x', y', z'), \quad (5)$$

указывающим, что при преобразовании координатной системы величина скаляра Φ остается неизменной. При этом, вследствие линейного характера формул (2), влияние преобразования проявляется только в изменении постоянных величин (коэффициентов), входящих в уравнение (5), определяющее зависимость Φ от координат.

Вследствие этого, хотя характер соотношения (5) остается независящим от преобразования, в формулах (5) введены различные обозначения f и f' для операций, которые должны быть произведены соответственно над координатами x, y, z , и x', y', z' фиксированной частицы среды для отыскания величины Φ .

2. ПРИМЕРЫ ФИЗИЧЕСКИХ И НЕФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Рассмотрим теперь несколько примеров:

А. Сумма произведений одноименных проекций двух физических векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ является физическим скаляром.

Обозначим проекции обоих векторов в старой координатной системе соответственно:

$$a_x, a_y, a_z, \quad b_x, b_y, b_z$$

и в новой

$$a_{x'}, a_{y'}, a_{z'}, \quad b_{x'}, b_{y'}, b_{z'}.$$

Тогда по (4)

$$\begin{aligned} a_{x'} &= \alpha_{xx} \cdot a_x + \alpha_{yx} \cdot a_y + \alpha_{zx} \cdot a_z, & b_{x'} &= \alpha_{xx} \cdot b_x + \alpha_{yx} \cdot b_y + \alpha_{zx} \cdot b_z, \\ a_{y'} &= \alpha_{xy} \cdot a_x + \alpha_{yy} \cdot a_y + \alpha_{zy} \cdot a_z, & b_{y'} &= \alpha_{xy} \cdot b_x + \alpha_{yy} \cdot b_y + \alpha_{zy} \cdot b_z, \\ a_{z'} &= \alpha_{xz} \cdot a_x + \alpha_{yz} \cdot a_y + \alpha_{zz} \cdot a_z, & b_{z'} &= \alpha_{xz} \cdot b_x + \alpha_{yz} \cdot b_y + \alpha_{zz} \cdot b_z. \end{aligned}$$

Отсюда

$$\begin{aligned} a_{x'} \cdot b_{x'} + a_{y'} \cdot b_{y'} + a_{z'} \cdot b_{z'} &= a_x \cdot b_x (\alpha_{xx}^2 + \alpha_{yx}^2 + \alpha_{zx}^2) + \\ &+ a_y \cdot b_y (\alpha_{yx}^2 + \alpha_{yy}^2 + \alpha_{zy}^2) + a_z \cdot b_z (\alpha_{zx}^2 + \alpha_{zy}^2 + \alpha_{zz}^2) + \\ &+ (a_x b_y + a_y b_x) (\alpha_{xx} \cdot \alpha_{yx} + \alpha_{xy} \cdot \alpha_{yy} + \alpha_{xz} \cdot \alpha_{yz}) + \\ &+ (a_x b_z + a_z b_x) (\alpha_{xx} \cdot \alpha_{zx} + \alpha_{xy} \cdot \alpha_{zy} + \alpha_{xz} \cdot \alpha_{zz}) + \\ &+ (a_y b_z + a_z b_y) (\alpha_{yx} \cdot \alpha_{zx} + \alpha_{yy} \cdot \alpha_{zy} + \alpha_{yz} \cdot \alpha_{zz}). \end{aligned}$$

Три первых коэффициента последнего разложения представляют собой суммы квадратов направляющих косинусов осей x, y, z соответственно и вследствие этого

$$\alpha_{xx}^2 + \alpha_{yx}^2 + \alpha_{zx}^2 = \alpha_{yx}^2 + \alpha_{yy}^2 + \alpha_{yz}^2 = \alpha_{zx}^2 + \alpha_{zy}^2 + \alpha_{zz}^2 = 1.$$

Каждый из следующих трех членов определяет величину косинуса угла между осями x, y ; x, z и y, z соответственно и вследствие прямоугольности координатной системы обращается в нуль:

$$\begin{aligned} \alpha_{xx} \cdot \alpha_{yx} + \alpha_{xy} \cdot \alpha_{yy} + \alpha_{xz} \cdot \alpha_{yz} &= \cos(x, y) = 0, \\ \alpha_{xx} \cdot \alpha_{zx} + \alpha_{xy} \cdot \alpha_{zy} + \alpha_{xz} \cdot \alpha_{zz} &= \cos(x, z) = 0, \\ \alpha_{yx} \cdot \alpha_{zx} + \alpha_{yy} \cdot \alpha_{zy} + \alpha_{yz} \cdot \alpha_{zz} &= \cos(y, z) = 0. \end{aligned}$$

Окончательно,

$$a_x' \cdot b_x' + a_y' \cdot b_y' + a_z' \cdot b_z' = a_x \cdot b_x + a_y \cdot b_y + a_z \cdot b_z = \text{const.}$$

Примерами рассмотренного типа физических скаляров могут служить: работа силы $\bar{F}$ на прямолинейном пути $\bar{a}$, определяемая скалярным произведением

$$(\bar{F}, \bar{a}) = F_x \cdot a_x + F_y \cdot a_y + F_z \cdot a_z,$$

квадрат длины физического вектора $\bar{a}$, равный скалярному произведению $(\bar{a}, \bar{a})$ и др.

В. Проекция физического вектора $\bar{a}$ на координатные оси не являются физическими скалярами.

Действительно, при преобразовании координатной системы величина проекций может изменяться от нуля до значения, равного длине вектора.

С. Скорость изменения во времени физического вектора является физическим же вектором.

Пусть

$$\bar{b} = \frac{d\bar{a}}{dt},$$

где $\bar{a}$ — физический вектор.

Дифференцируя по t обе части равенства (4), находим:

$$\begin{aligned} \frac{da_x'}{dt} &= \alpha_{xx} \cdot \frac{da_x}{dt} + \alpha_{yx} \cdot \frac{da_y}{dt} + \alpha_{zx} \cdot \frac{da_z}{dt}, \\ \frac{da_y'}{dt} &= \alpha_{xy} \cdot \frac{da_x}{dt} + \alpha_{yy} \cdot \frac{da_y}{dt} + \alpha_{zy} \cdot \frac{da_z}{dt}, \\ \frac{da_z'}{dt} &= \alpha_{xz} \cdot \frac{da_x}{dt} + \alpha_{yz} \cdot \frac{da_y}{dt} + \alpha_{zz} \cdot \frac{da_z}{dt}, \end{aligned}$$

но

$$\begin{aligned} \frac{da_x'}{dt} &= b_x', \quad \frac{da_y'}{dt} = b_y', \quad \frac{da_z'}{dt} = b_z', \\ \frac{da_x}{dt} &= b_x, \quad \frac{da_y}{dt} = b_y, \quad \frac{da_z}{dt} = b_z \end{aligned}$$

и следовательно

$$\begin{aligned} b'_x &= \alpha_{xx} \cdot b_x + \alpha_{yx} \cdot b_y + \alpha_{zx} \cdot b_z, \\ b'_y &= \alpha_{xy} \cdot b_x + \alpha_{yy} \cdot b_y + \alpha_{zy} \cdot b_z, \\ b'_z &= \alpha_{xz} \cdot b_x + \alpha_{yz} \cdot b_y + \alpha_{zz} \cdot b_z, \end{aligned}$$

т. е. проекции вектора $\bar{b}$ ковариантны по отношению к координатам.

Примером рассмотренного типа физических векторов являются скорость и ускорение частицы жидкости, определяемые соответственно, как первая и вторая производная по времени от физического вектора перемещения частицы.

Д. Орты координатных осей $\bar{i}_x, \bar{i}_y, \bar{i}_z$ не являются физическими векторами.

Действительно, при преобразовании координатной системы взаимное положение ортов и физических векторов поля изменяется вместе с поворотом координатных осей. Последнее заключение подтверждается независимостью проекций ортов от координат, приводящей к нарушению основного соотношения (4).

3. ПОЛЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Перейдем теперь к рассмотрению непрерывной совокупности физических величин, заполняющих исследуемую часть материальной среды.

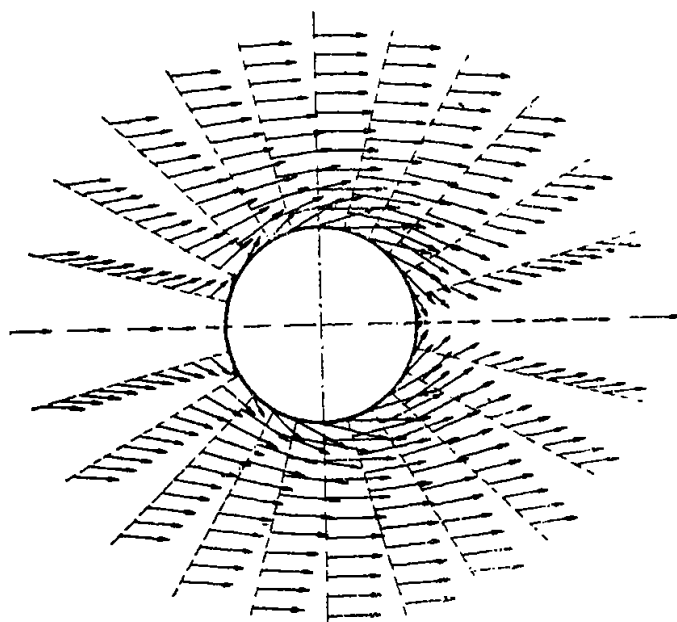


Рис. 3. Скоростное поле жидкой несжимаемой и невязкой среды, обтекающей круглое цилиндрическое тело.

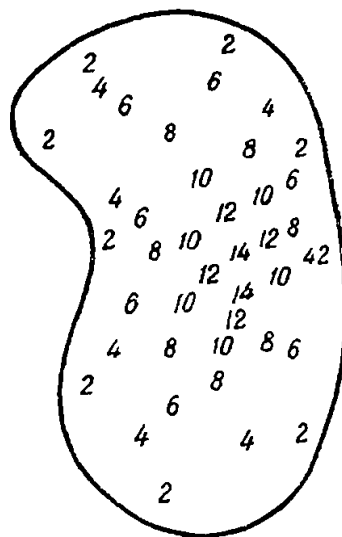


Рис. 4. Скалярное поле глубин водного бассейна. Значения скалярной функции Φ — глубины моря в метрах поставлены в местах, к которым относятся результаты гидрографических измерений.

Полем некоторой физической величины называется часть пространства, с каждой точкой которого ассоциируется определенное значение этой величины.

Примерами физического поля могут служить поле скоростей или ускорений частиц жидкости, поле напряжений в деформируемом упругом теле, температурные или электромагнитные поля и т. д.

Из определения следует, что каждой точке поля M (с координатами x, y, z) в рассматриваемый момент времени t отвечает некоторый скаляр Φ или вектор $\vec{a}$, т. е.

$$\begin{aligned}\Phi &= \Phi(x, y, z, t), \\ \vec{a} &= \vec{a}(x, y, z, t).\end{aligned}$$

В этом смысле слова поле физической величины Φ или $\vec{a}$ можно определить, как часть пространства, в котором величины Φ или $\vec{a}$ рассматриваются, как функции точки.

Поле скалярной величины будем для краткости называть скалярным полем и соответственно поле векторной функции — векторным.

Если значение физической величины в любой точке поля с течением времени не меняется:

$$\begin{aligned}\Phi &= \Phi(x, y, z), \\ \vec{a} &= \vec{a}(x, y, z),\end{aligned}$$

то такое поле условимся называть установившимся или стационарным; в противном случае поле называется неустойчивым или нестационарным.

В дальнейшем будем предполагать, что физические величины Φ и $\vec{a}$ являются непрерывными функциями координат и времени. Те точки пространства, в которых это последнее условие нарушается, называются особыми точками поля.

4. СПОСОБЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ. ПОВЕРХНОСТИ И ЛИНИИ УРОВНЯ. ВЕКТОРНЫЕ ЛИНИИ

В качестве примера на рис. 3 иллюстрируется стационарное скоростное поле жидкой, несжимаемой и невязкой среды, обтекающей круглое цилиндрическое тело со скоростью v_0 , представляемой при выбранном на рис. 3 масштабе, вектором, имеющим длину, равную 5 мм.

Для упорядочения самого изображения величины и направления скоростей были построены для точек, расположенных на пересечении концентрических с профилем окружностей и радиальных сечений, показанных на рис. 3 пунктиром.

В качестве иллюстрации скалярного поля на рис. 4 представлена карта глубин некоторого водного бассейна, причем отдельные значения скалярной функции Φ — глубины моря — поставлены непосредственно в местах, к которым относятся результаты гидрографических промеров.

Обычно способы представления физических полей отличаются от приведенных на рис. 3 и 4 и в случае скалярного поля они основаны на следующих соображениях.

Введем в рассмотрение представление о поверхности уровня скалярной функции Φ , понимая под ней геометрическое место точек поля, для которых скаляр Φ имеет одно и то же значение. В соответствии с этим, общий вид уравнения поверхности уровня следующий:

$$\Phi(x, y, z) = C,$$

где C — некоторая постоянная.

Давая различные значения величине C , получим семейство поверхностей уровня. При однозначности функции Φ через любую точку поля проходит только одна поверхность уровня.

Уравнение поверхности уровня, проходящей через заданную точку $M(x_0, y_0, z_0)$, может быть записано следующим образом:

$$\Phi(x, y, z) = \Phi(x_0, y_0, z_0).$$

Условимся в дальнейшем проводить поверхности уровня в определенном порядке, назначая значения постоянной C так, чтобы

$$C_2 - C_1 = C_3 - C_2 = C_4 - C_3 = \dots = C_{k+1} - C_k = \dots = \Delta C.$$

В таком случае, степень концентрации поверхностей уровня в каком-либо месте поля будет свидетельствовать о скорости изменения скалярной функции Φ .

На рис. 5 представлено изображение поля глубин водного бассейна, иллюстрированного ранее рис. 4, с помощью линий уровня¹⁾

$$\Phi(x, y) = C, \quad (6)$$

представляющих собой в этом случае линии одинаковой глубины.

Для физического поля векторной величины $\underline{a}$ можно рекомендовать следующий способ изображения. Введем в рассмотрение векторную линию вектора $\underline{a}$, понимая под ней геометрическое место точек, обладающих тем свойством, что касательная в произвольной точке линии параллельна направлению вектора $\underline{a}$ в этом месте пространства.

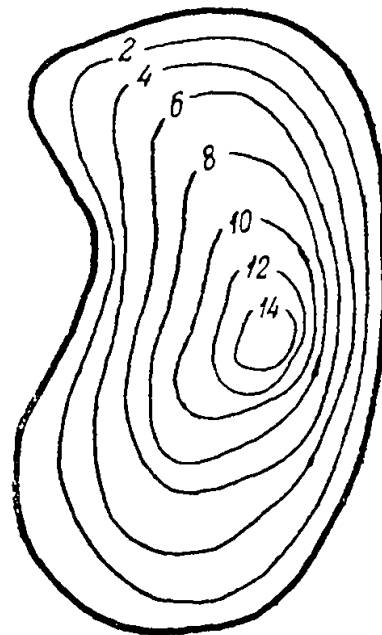


Рис. 5. Изображение поля глубин водного бассейна с помощью линий уровня (линий одинаковой глубины).

¹⁾ Для плоского физического поля, т. е. при идентичности физических процессов, происходящих в различных плоских параллельных друг другу сечениях пространства или, как в рассматриваемом примере, в случае, если скаляр Φ является по существу задачи функцией только двух координат x, y , вместо поверхностей уровня естественно рассматривать линии уровня, определяемые уравнением (6).

Если элемент векторной линии обозначить через $d\vec{r}$, то в векторной форме уравнение линии может быть записано следующим образом:

$$[d\vec{r}, \vec{a}] = 0$$

или в координатах

$$\frac{dx}{a_x} = \frac{dy}{a_y} = \frac{dz}{a_z}.$$

Можно условиться проводить векторные линии так, чтобы число их, приходящееся на единичную (один квадратный сантиметр) площадку, нормальную к линии в данном месте пространства, было пропорционально числу единиц, определяющих величину вектора $\vec{a}$.

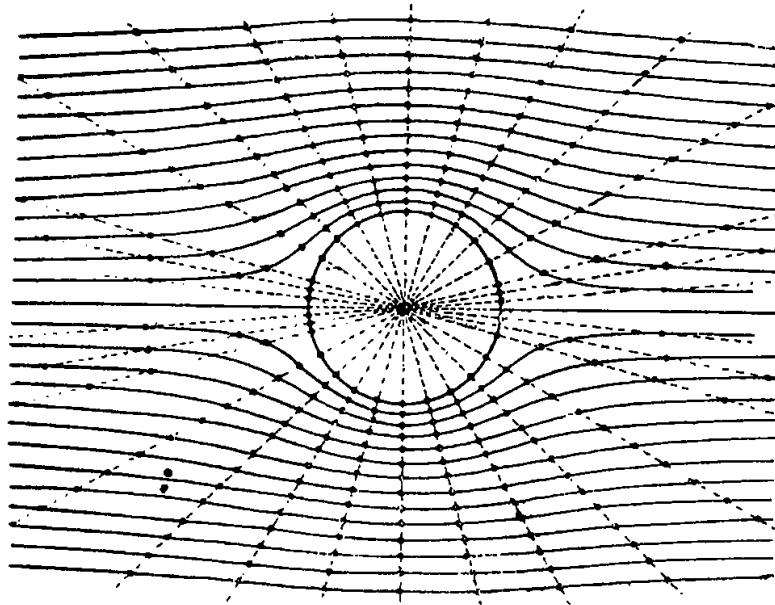


Рис. 6. Линии тока в случае обтекания кругового цилиндра идеальной (невязкой и несжимаемой) жидкостью.

В таком случае, степень концентрации векторных линий в каком-либо месте поля будет свидетельствовать об интенсивности физической величины, определяемой вектором $\vec{a}$, направление которого совпадает с направлением касательной к линии тока. Иллюстрацией такого способа изображения является рис. 6, на котором с помощью векторных линий (в этом случае они называются линиями тока) изображено скоростное поле в невязкой и несжимаемой жидкости, обтекающей круговой цилиндр, ранее представленное на рис. 3.

ГЛАВА II

ПОНЯТИЕ О ТЕНЗОРЕ

Введение понятия «тензор» начнем с рассмотрения примеров, иллюстрирующих содержание этого нового физического представления при исследовании основных вопросов гидродинамики, теории упругости и других разделов рациональной механики.

5. ТЕНЗОР СКОРОСТНОГО ПОЛЯ

Исследуем поле скоростей вблизи некоторой частицы жидкости A . Для этого, поместив начало подвижной прямоугольной системы координат в точку A (рис. 7), найдем проекции на оси Ax , Ay , Az скорости $\vec{v}$ произвольной точки B , радиус вектор которой равен $\vec{r}$.

Предполагая, что в рассматриваемой части среды скорость является правильной (регулярной) функцией точки, и имея в виду, что координаты и скорость точки A по отношению к взятой системе координатных осей равны нулю, в соответствии с общим видом разложения в ряд Тейлора найдем:

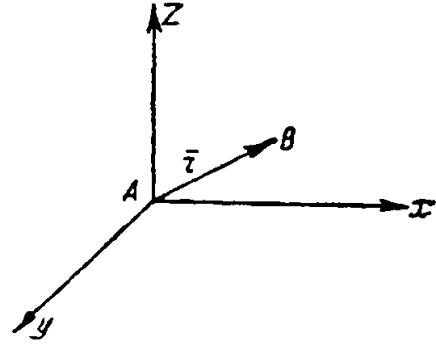


Рис. 7. Координатная система (к пункту 5).

$$\begin{aligned} v_x &= x \frac{\partial v_x}{\partial x} + y \frac{\partial v_x}{\partial y} + z \frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{x^2}{2!} \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \\ &\quad + \frac{y^2}{2!} \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{z^2}{2!} \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} + \dots \\ v_y &= x \frac{\partial v_y}{\partial x} + y \frac{\partial v_y}{\partial y} + z \frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{x^2}{2!} \frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \\ &\quad + \frac{y^2}{2!} \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{z^2}{2!} \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} + \dots \\ v_z &= x \frac{\partial v_z}{\partial x} + y \frac{\partial v_z}{\partial y} + z \frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{x^2}{2!} \frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \\ &\quad + \frac{y^2}{2!} \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{z^2}{2!} \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} + \dots \end{aligned}$$

где через v_x , v_y , v_z , x , y , z — обозначены соответственно проекции скорости $\vec{v}$ и радиуса вектора $\vec{r}$ точки B на одноименные координатные оси.

Ограничимся рассмотрением только ближайшей окрестности точки A ; тогда членами разложения во второй и высших степенях по сравнению с членами, содержащими первые степени x , y и z , можно будет пренебречь.

В таком случае,

$$\begin{aligned} v_x &= x \frac{\partial v_x}{\partial x} + y \frac{\partial v_x}{\partial y} + z \frac{\partial v_x}{\partial z} \\ v_y &= x \frac{\partial v_y}{\partial x} + y \frac{\partial v_y}{\partial y} + z \frac{\partial v_y}{\partial z} \\ v_z &= x \frac{\partial v_z}{\partial x} + y \frac{\partial v_z}{\partial y} + z \frac{\partial v_z}{\partial z} \end{aligned} \quad (7')$$

и, следовательно, скорость $\vec{v}$ является линейной векторной функцией места, а компоненты ее v_x , v_y , v_z — линейными функциями координат точки.

Такого рода скоростные поля носят название однородных или гомогенных.

Из предыдущего разложения следует, что внутри рассматриваемой области поле скоростей однозначно определяется девятью постоянными числами

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial v_x}{\partial x}, \frac{\partial v_x}{\partial y}, \frac{\partial v_x}{\partial z}, \\ \frac{\partial v_y}{\partial x}, \frac{\partial v_y}{\partial y}, \frac{\partial v_y}{\partial z}, \\ \frac{\partial v_z}{\partial x}, \frac{\partial v_z}{\partial y}, \frac{\partial v_z}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

совокупность которых носит название дифференциального тензора скоростного поля. При этом в отличие от вектора $\vec{v}$, с которым обычно

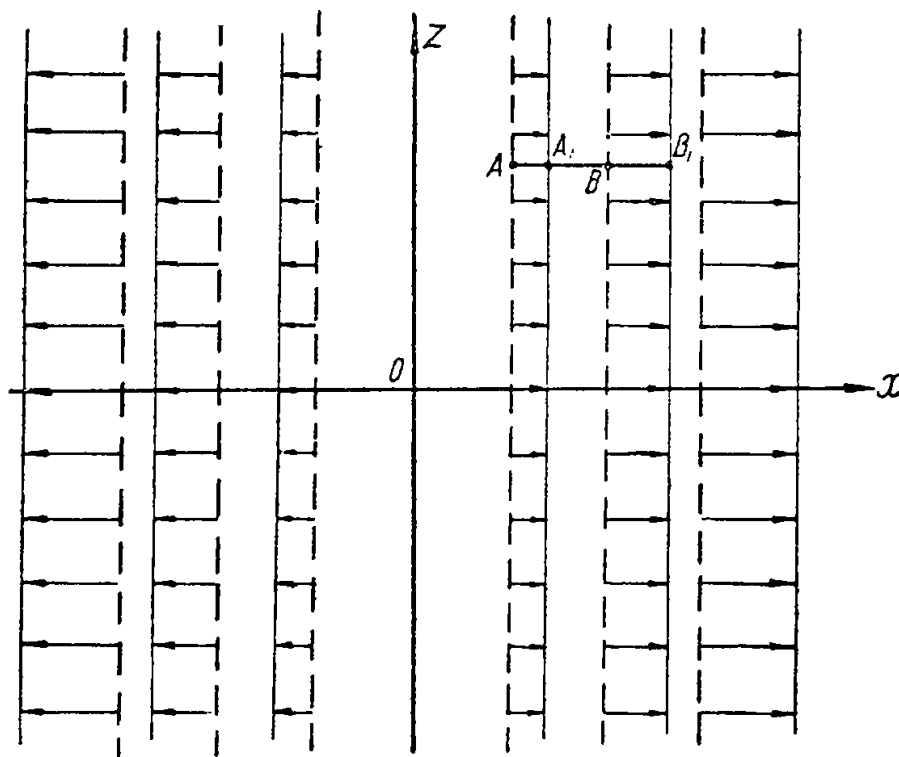


Рис. 8. Скоростное поле, определяемое соотношениями

$$v_x = x \frac{\partial v_x}{\partial x}, \quad v_y = 0, \quad v_z = 0$$

(растяжение вдоль оси x).

ассоциируется представление о скорости в некоторой точке среды, можно сопоставлять тензор (7) с более общим физическим представлением о скоростном поле в окрестности точки A .