

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЙ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ СО СВЯЗЬЮ

Орлянская Т.И.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет),*

Ключевые слова: несвободная материальная точка, связи, реакции связей, абсолютное движение несвободной материальной точки, относительное движение, абсолютизация относительного движения.

Аннотация. В статье на простых примерах рассматривается влияние различных видов связей на движение материальной точки. Выясняется в каких случаях появляется динамическая составляющая реакции связи, действиям какой силы на материальную точку она обусловлена, и как эта сила влияет на относительное движение материальной точки, выявляются причины, по которым в каждом конкретном случае происходит абсолютизация относительного движения. Кроме того, выясняется, как динамическая составляющая реакции связи влияет на абсолютное движение материальной точки и почему абсолютное движение материальной точки со связями можно рассматриваться как сложное движение точки.

DYNAMIC ANALYSIS OF MOTIONS OF A MATERIAL POINT WITH A CONNECTION

Orlyanskaya T.I.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Keywords: unfree material point, connections, reactions of connections, absolute motion of unfree material point, relative motion, absolutization of relative motion.

Abstract. The article examines, using simple examples, the influence of different types of connections on the movement of a material point. It is determined in which cases the dynamic component of the reaction of the connection appears, the actions of what force on the material point it is caused by, and how this force affects the relative motion of the material point, the reasons are revealed for which in each specific case the absolutization of the relative motion occurs. In addition, it is found out how the dynamic component of the reaction of the connection affects the absolute motion of a material point and why the absolute motion of a material point with connections can be considered as a complex motion of a point.

Введение

Известно, что второй закон динамики для несвободной материальной точки имеет такой же вид как и для свободной, следовательно дифференциальные уравнения движения несвободной материальной точки имеют такой же вид, как и для свободной материальной точки, только к действующим на точку силам добавляют все силы реакции связей. Реакции связей заранее неизвестны и их необходимо определять. Определяют реакции по заданным связям, наложенным на движущуюся материальную точку [1].

Связью может быть одно тело или система тел, которые ограничивают положение и движение материальной точки в пространстве. Аналитически связи описываются уравнениями связей. Уравнения связей представляют собой условие сохранения связи, которое накладывает ограничения на координаты и

производные от координат по времени, которые должны выполняться независимо от действующих на материальную точку сил.

В зависимости от вида уравнений связей их классифицируют. Каждая связь может быть голономной или неголономной, стационарной или нестационарной, удерживающей или неудерживающей [2].

В связи с многообразием видов связей, которые могут быть наложены на движущуюся материальную точку, возникает важная задача исследования влияния связей на движение материальной точки.

Основная часть

В статье поочередно рассматривается влияние трех различных видов связей на движение материальной точки. При этом исследуются как бы три разрозненных события, для каждого из которых решаются две разные задачи. Одна задача связана с исследованием абсолютного движения материальной точки. Постановка задачи в этом случае формулируется так: по действующим на материальную точку в инерциальном пространстве силам и наложенным связям, определить абсолютное ускорение движения точки и силу реакции связи. Другая задача связана с исследованием относительного движения материальной точки. Постановка задачи в этом случае формулируется так: по действующим на материальную точку в инерциальном или неинерциальном пространствах силам и наложенным связям, определить ускорение относительного движения точки и силу реакции связи. Решаются вторые задачи динамики для абсолютного и относительного движений материальной точки не полностью, а частично, на уровне взаимодействий материальной точки с силовыми полями, средой и контактирующими с ней телами.

Рассмотрим влияние различных видов связей на движение материальной точки на примере решения задачи.

Задача. Пусть материальная точка A массой m спускается вниз по гладкой боковой грани призмы B , расположенной под углом α к горизонту (рис. 1). Определить реакцию связи, абсолютное и относительное ускорения движения материальной точки A для различных случаев механического состояния призмы B : 1) призмы неподвижна ($\vec{v}_B = 0$); 2) призма движется поступательно прямолинейно и равномерно ($\vec{v}_B = \text{const}$); 3) призма движется поступательно прямолинейно и равноускоренно ($\vec{v}_B \neq 0, \vec{a}_B = \text{const}$).

Решение. Вводим в рассмотрение две системы координат: $O_1x_1y_1$ – неподвижную (инерциальную), жестко связанную с неподвижной горизонтальной плоскостью, и подвижную Oxy , жестко связанную с призмой B . Начало неподвижной системы координат – точку O_1 совмещаем с некоторой точкой на неподвижной горизонтальной плоскости; Ось O_1x_1 направляем вдоль горизонтали; ось O_1y_1 перпендикулярно оси O_1x_1 . Положение материальной точки A в неподвижной системе координат определяем двумя координатами x_1 и y_1 .

За начало подвижной системы координат принимаем верхнюю точку O боковой грани призмы B . Ось Ox направляем по боковой грани призмы B вниз. Ось Oy перпендикулярно оси Ox . Положение материальной точки на боковой грани призмы определяем координатой x . В том случае, когда подвижная система

координат Oxy , жестко связанная с призмой B , неподвижна или движется равномерно и прямолинейно, она является инерциальной системой координат; если движется с ускорением, то она является неинерциальной системой координат.

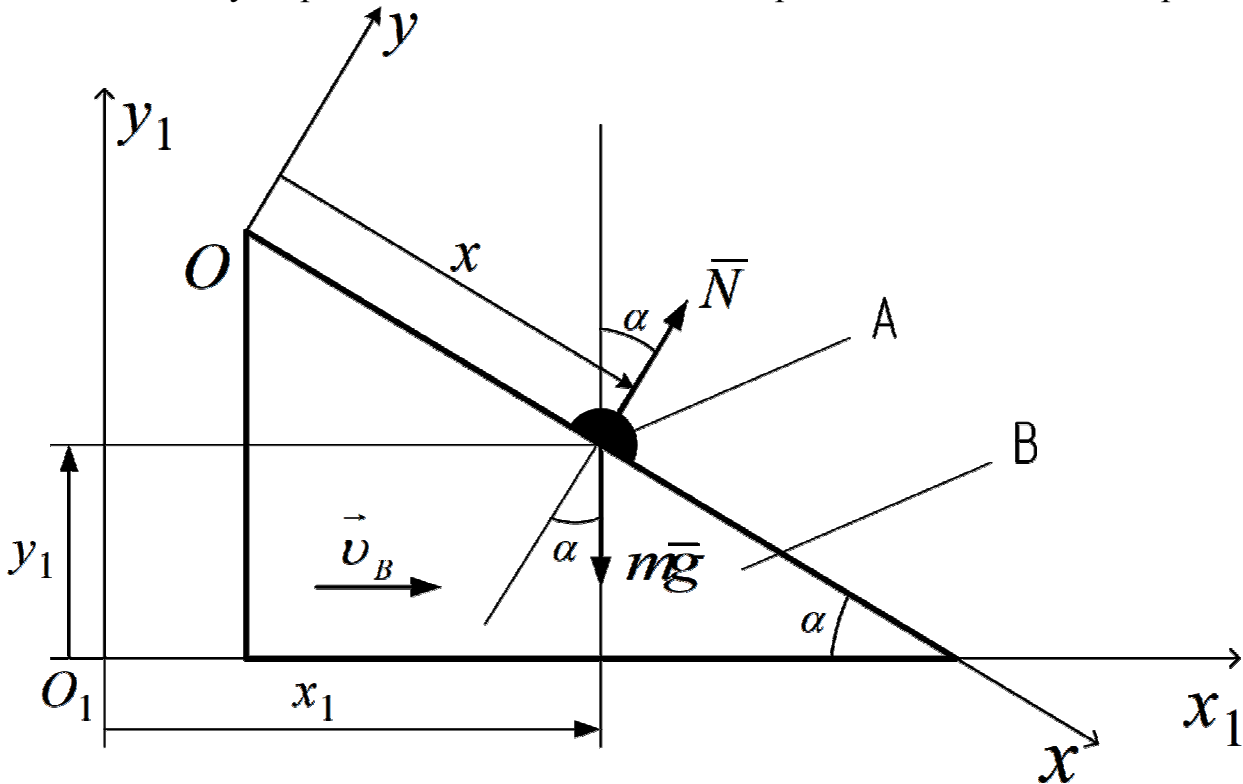


Рис. 1. Движение материальной точки

1.1. Рассматриваем абсолютное движение материальной точки A , которая скользит по боковой грани неподвижной призмы B ($\vec{v}_B = 0$)

Абсолютное движение точки A рассматриваем как движение материальной точки со связью. Связью является скольжение точки A по гладкой боковой грани призмы B .

Составляем уравнение динамики абсолютного движения материальной точки A . В инерциальном пространстве на точку A действуют две силы: сила тяжести $m\vec{g}$, реакция связи $\vec{N}$.

Уравнение динамики абсолютного движения в векторной форме имеет вид

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}. \quad (1)$$

В проекциях на неподвижные оси уравнение (1) принимает вид

$$m\ddot{x}_1 = N \sin \alpha, \quad (2)$$

$$m\ddot{y}_1 = -mg + N \cos \alpha, \quad (3)$$

где $\ddot{x}_1$, $\ddot{y}_1$ – проекции абсолютного ускорения движения точки A на неподвижные оси; N – неизвестная реакция связи, которая определяется в процессе решения задачи.

Из уравнений (2) и (3) получаем выражение для определения реакции связи

$$N = m\ddot{x}_1 \sin \alpha + m\ddot{y}_1 \cos \alpha + mg \cos \alpha. \quad (4)$$

Рассматриваем динамику движения материальной точки A со связью, поэтому для дальнейшего решения уравнений (2) и (3) вводим в рассмотрение уравнение связи.

Для того, чтобы материальная точка A в любой момент времени находилась на боковой грани призмы B необходимо, чтобы выполнялось условие

$$v_A^n = v_B^n, \quad (5)$$

где v_A^n , v_B^n – проекции на нормаль n к боковой грани скоростей движения точки A и контактирующей с ней точки боковой грани призмы B .

Принимая во внимание, что призма B неподвижна ($\vec{v}_B = 0$), а проекции скорости абсолютного движения точки A на неподвижные оси соответственно равны $\dot{x}_1$ и $\dot{y}_1$, получаем уравнение связи в виде

$$\dot{x}_1 \sin \alpha - \dot{y}_1 \cos \alpha = 0. \quad (6)$$

Выражение (6) является уравнением голономной стационарной связи, наложенной на движение материальной точки A .

Дифференцируя обе части выражения (6) по времени, получаем

$$\ddot{x}_1 \sin \alpha - \ddot{y}_1 \cos \alpha = 0. \quad (7)$$

После чего выражение (4) для определения реакции связи с учетом выражения (7) и знака ускорения $\ddot{y}_1$ ($\ddot{y}_1 < 0$) принимает вид

$$N = mg \cos \alpha. \quad (8)$$

Выражение (8) определяет значение реакции связи с учетом вида связи наложенной на движение материальной точки.

Из выражения (8) следует, что реакция связи обусловлена действием силы тяжести материальной точки A на боковую грань призмы B и зависит от угла наклона боковой грани к горизонту.

Если теперь заменить в уравнениях (2) и (3) реакцию связи на ее значение (8), то получаем дифференциальные уравнения абсолютного движения материальной точки A с учетом вида связи, наложенной на ее движение

$$\begin{aligned} m\ddot{x}_1 &= mg \cos \alpha \sin \alpha, \\ m\ddot{y}_1 &= -mg + mg \cos^2 \alpha, \\ \text{или} \quad m\ddot{x}_1 &= mg \cos \alpha \sin \alpha, \\ m\ddot{y}_1 &= -mg \sin^2 \alpha. \end{aligned} \quad (9)$$

После сокращения на массу m материальной точки, получаем из уравнений (9) выражения для определения проекций абсолютного ускорения движения материальной точки на неподвижные оси

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 &= g \cos \alpha \sin \alpha, \\ \ddot{y}_1 &= -g \sin^2 \alpha. \end{aligned} \quad (10)$$

Полное ускорение абсолютного движения материальной точки находим по формуле

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{(\ddot{x}_1)^2 + (\ddot{y}_1)^2} \\ \text{и} \quad a &= \sqrt{(g \cos \alpha \sin \alpha)^2 + (-g \sin^2 \alpha)^2} = g \sin \alpha \end{aligned} \quad (11)$$

Из выражения (11) следует, что абсолютное ускорение движения материальной точки зависит от ускорения свободного падения и угла наклона боковой грани призмы B к горизонту.

1.2. Рассматриваем относительное движение материальной точки A , которая скользит по боковой грани неподвижной призмы B ($\vec{v}_B = 0$)

Траекторией относительного движения материальной точки является прямая линия, направленная вдоль боковой грани призмы B . Призма неподвижна, система координат Oxy , жестко связанная с ней является инерциальной.

Относительное движение материальной точки в инерциальном пространстве происходит под действием двух сил: силы тяжести $m\vec{g}$ и реакции связи $\vec{N}$.

Уравнение динамики относительного движения имеет вид

$$m\vec{a}_r = m\vec{g} + \vec{N} \quad (12)$$

Связью по-прежнему является скольжение материальной точки A по боковой грани призмы B . Уравнение связи в инерциальной системе координат Oxy имеет вид

$$y = 0.$$

Тогда уравнение движения (12) в проекциях на оси Ox и Oy получает вид

$$ma_r = mg \sin \alpha, \quad (13)$$

$$0 = -mg \cos \alpha + N. \quad (14)$$

Из (13) получаем выражение для определения ускорения относительного движения материальной точки

$$a_r = g \sin \alpha. \quad (15)$$

Из (14) получаем выражение для определения реакции связи

$$N = g \cos \alpha. \quad (16)$$

Анализируя вид уравнений динамики абсолютного (1) и относительного (12) движений, делаем вывод о том, что уравнения динамики тождественны; выражения (8) и (15) для определения реакции связи в абсолютном и относительном движениях одинаковы и, наконец, в выражениях (11) и (15) равны ускорения абсолютного и относительного движений материальной точки.

Такой результат очевиден, так как относительное движение происходит в инерциальном пространстве под действием тех же сил, что и абсолютное движение. Так как уравнение динамики относительного движения записывается в инерциальной системе координат, то происходит абсолютизация относительного движения материальной точки. При этом выражения (15) и (16), полученные при решении уравнения динамики относительного движения, определяют значения относительного ускорения движения материальной точки A и реакции связи N в инерциальном пространстве.

2.1. Рассматриваем абсолютное движение материальной точки A , которая скользит по боковой грани призмы B , когда призма движется вправо поступательно прямолинейно и равномерно ($\vec{v}_B = \text{const}$)

Абсолютное движение материальной точки A со связью происходит под действием двух сил: силы тяжести $m\vec{g}$ и реакции связи $\vec{N}$.

Уравнение динамики абсолютного движения в векторной форме имеет вид (1), в проекциях на неподвижные оси вид (2) и (3), а выражение для определения значения реакции связи – вид (4).

Связью по-прежнему является скольжение материальной точки по боковой грани призмы B . Меняются физические свойства связи, призма B движется, связь становится голономной нестационарной.

Уравнение связи имеет вид

$$\dot{x}_1 \sin \alpha - \dot{y}_1 \cos \alpha = v_B \sin \alpha. \quad (17)$$

Дифференцируя обе части уравнения (17) по времени, получаем

$$\ddot{x}_1 \sin \alpha - \ddot{y}_1 \cos \alpha = 0. \quad (18)$$

Выражение (4) для определения значения реакции связи с учетом выражения (18) и знака ускорения $\ddot{y}_1$ ($\ddot{y}_1 < 0$) принимает вид

$$N = g \cos \alpha. \quad (19)$$

Из выражения (19) следует, что значение реакции связи с учетом вида связи остается прежним.

Очевидно, прежними остаются и уравнения (9) абсолютного движения материальной точки A с учетом вида связи, проекции абсолютного ускорения движения материальной точки на неподвижные оси (10) и значение полного ускорения абсолютного движения материальной точки (11).

2.2. Рассматриваем относительное движение материальной точки A , которая скользит по боковой грани призмы B , когда призма движется вправо поступательно прямолинейно и равномерно ($\vec{v}_B = \text{const}$)

Система координат Oxy , жестко связанная с призмой B , которая движется поступательно прямолинейно и равномерно, остается инерциальной.

Рассматриваем относительное движение материальной точки A в инерциальном пространстве. На материальную точку в инерциальном пространстве действуют две силы: сила тяжести $-m\vec{g}$, реакция связи $\vec{N}$.

Уравнение динамики относительного движения записывается в инерциальном пространстве и имеет вид (12).

Связью по-прежнему является скольжение материальной точки A по боковой грани призмы B . Уравнение связи в подвижной системе координат Oxy по-прежнему имеет вид $y = 0$.

Уравнение динамики относительного движения материальной точки в проекциях на оси Ox и Oy описывается уравнениями (13) и (14). Ускорение относительного движения точки определяется выражением (15), а выражение для определения реакции связи имеет вид (16).

И, так как, уравнение динамики относительного движения по-прежнему составляется в инерциальной системе координат, то происходит абсолютизация относительного движения материальной точки и выражения (15) и (16), полученные при решении уравнения динамики относительного движения, определяют значение относительного ускорения a_r и реакцию связи N в инерциальном пространстве.

3.1. Рассматриваем абсолютное движение материальной точки A , которая скользит по боковой грани призмы B , когда призма движется вправо поступательно прямолинейно и равноускоренно ($\vec{v}_B \neq 0$, $\vec{a}_B = \text{const}$)

Абсолютное движение материальной точки A со связью происходит под действием двух сил: силы тяжести $m\vec{g}$ и реакции связи $\vec{N}$.

Уравнение динамики абсолютного движения в векторной форме имеет вид (1), в проекциях на неподвижные оси Ox_1 и Oy_1 вид (2) и (3), а выражение для определения реакции связи имеет вид (4).

В том случае, когда призма B движется поступательно прямолинейно и равноускоренно связь является голономной и нестационарной. Снова меняется характер движения связи, и уравнение связи имеет вид

$$\dot{x}_1 \sin \alpha - \dot{y}_1 \cos \alpha = v_B(t) \sin \alpha. \quad (20)$$

Дифференцируя обе части выражения (20) по времени, получаем

$$\ddot{x}_1 \sin \alpha - \ddot{y}_1 \cos \alpha = a_B \sin \alpha. \quad (21)$$

Выражение (4) для определения значения реакции связи с учетом (21) и знака ускорения $\ddot{y}_1$ ($\ddot{y}_1 < 0$) принимает вид

$$N = mg \cos \alpha + ma_B \sin \alpha. \quad (22)$$

Выражение (22) определяет значение реакции связи с учетом вида связи, наложенной на движение материальной точки и содержит два слагаемых.

Первое слагаемое обусловлено действием на материальную точку силы тяжести $m\vec{g}$, второе действием динамической силы $\vec{R}_B = -m\vec{a}_B$.

Что можно сказать о силе $\vec{R}_B$ наверняка. Эта сила возникает при ускоренном движении призмы, т.е. действует на материальную точку в неинерциальном пространстве; численно равна силе инерции, но таковой не является т.к. приложена к материальной точке [3]. Силы $m\vec{g}$ и $\vec{R}_B = -m\vec{a}_B$ это массовые силы. Возникновение силы тяжести обусловлено тяготением материальной точки к Земле. О возникновении силы $\vec{R}_B$, можно только предположить, что оно вызвано тяготением материальной точки к призме.

В результате возникновения этой силы сохраняется связь при ускоренном движении призмы. Поэтому силу $\vec{R}_B$ в дальнейшем называем силой противодействия связи ее разрушению при ускоренном движении призмы или просто силой противодействия связи.

Заменяем в уравнениях движения (2) и (3) реакцию связи N ее выражением (22) и получаем дифференциальные уравнения абсолютного движения материальной точки с учетом вида наложенной на ее движение связи

$$m\ddot{x}_1 = mg \cos \alpha \sin \alpha + ma_B \sin^2 \alpha, \quad (23)$$

$$m\ddot{y}_1 = -mg + mg \cos^2 \alpha + ma_B \sin \alpha \cos \alpha.$$

Из уравнений (23) после сокращения на массу m материальной точки, получаем выражение для определения проекций абсолютного ускорения точки на неподвижные оси O_1x_1 и O_1y_1

$$\ddot{x}_1 = g \cos \alpha \sin \alpha + a_B \sin^2 \alpha, \quad (24)$$

$$\ddot{y}_1 = -g \sin^2 \alpha + a_B \sin \alpha \cos \alpha.$$

Полное ускорение абсолютного движения точки находим по формуле

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{(\ddot{x}_1)^2 + (\ddot{y}_1)^2}; \\ a &= \sqrt{(g \cos \alpha \sin \alpha + a_B \sin^2 \alpha)^2 + (-g \sin^2 \alpha + a_B \sin \alpha \cos \alpha)^2} = \\ &= \sqrt{g^2 \sin^2 \alpha + a_B^2 \sin^2 \alpha}. \end{aligned} \quad (25)$$

Из выражения (25) следует, что абсолютное ускорение движения точки A зависит от ускорения свободного падения, ускорения движения призмы B и от угла наклона боковой грани призмы к горизонту.

3.2. Рассматриваем относительное движение материальной точки A , которая скользит по боковой грани призмы B , когда призма движется вправо поступательно прямолинейно и равноускоренно ($\vec{v}_B \neq 0$, $\vec{a}_B = \text{const}$)

Призма B движется с ускорением. Система координат Oxy , жестко связана с ней, становится неинерциальной.

Относительное движение материальной точки A происходит в неинерциальном пространстве под действием трех сил: силы тяжести $m\vec{g}$, реакции связи $\vec{N}$ и силы противодействия связи $\vec{R}_B$ (рис. 2).

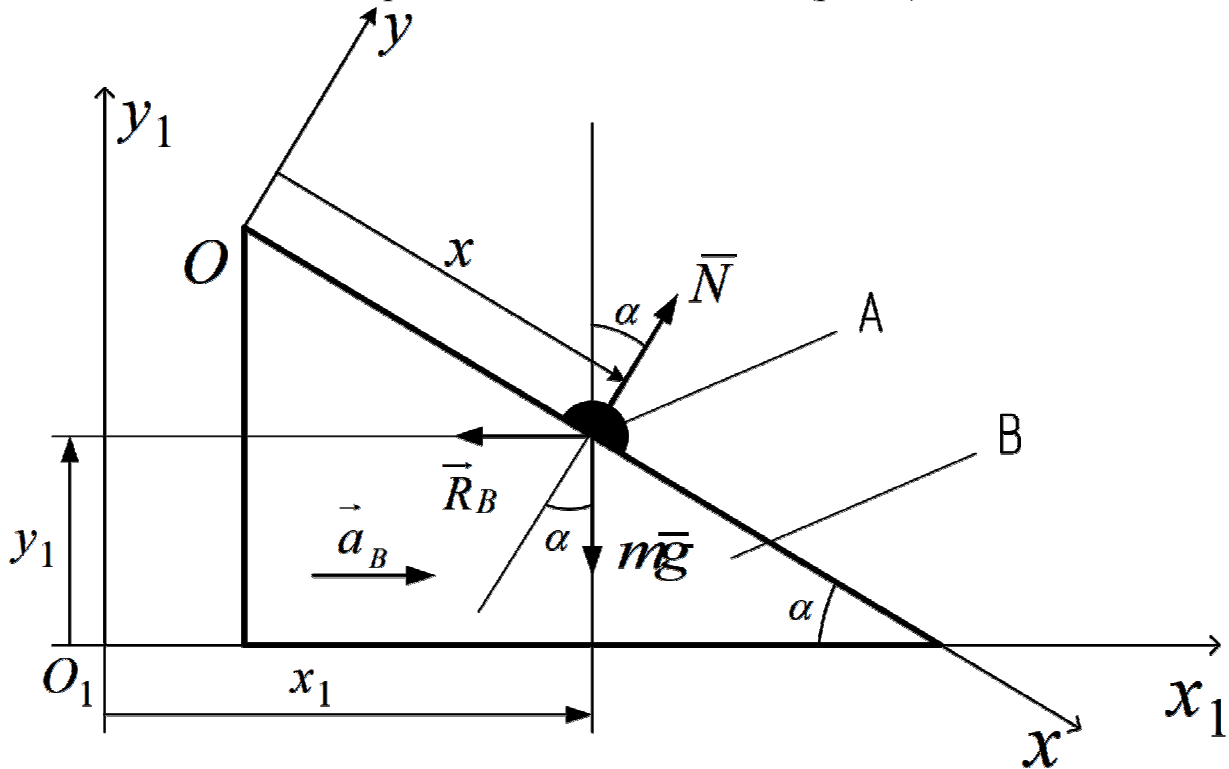


Рис. 2. Относительное движение материальной точки

Уравнение динамики относительного движения материальной точки в векторной форме имеет вид

$$m\vec{a}_r = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{R}_B. \quad (26)$$

Введение в уравнение динамики относительного движения силы $\vec{R}_B$ равносильно тому, что воздействие призмы на материальную точку при ее

ускоренном движении отброшено и заменено силой противодействия связи. В этом случае для материальной точки A подвижная неинерциальная система координат Oxy становится квазиинерциальной.

Уравнение динамики относительного движения (26) в проекциях на подвижные оси Ox и Oy имеет вид

$$ma_r = mg \sin \alpha - ma_B \cos \alpha, \quad (27)$$

$$0 = -mg \cos \alpha - ma_B \sin \alpha + N. \quad (28)$$

Из уравнения (27) выражение для определения значения относительного ускорения имеет вид

$$a_r = g \sin \alpha - a_B \cos \alpha. \quad (29)$$

Из уравнения (28) значение силы реакции связи с учетом вида связи имеет вид

$$N = mg \cos \alpha + ma_B \sin \alpha. \quad (30)$$

Так как уравнение динамики относительного движения (26) составлено в квазиинерциальной системе координат Oxy , то происходит абсолютизация относительного движения материальной точки. Тогда, полученные выражения (29) и (30) определяют значения относительного ускорения a_r и реакции связи N в инерциальном пространстве. Для значения реакции связи это очевидно, полученное выражение (30) полностью совпадает с выражением для определения реакции связи (22), полученным при исследовании абсолютного движения материальной точки.

Чтобы убедиться в том, что найденное ускорение относительного движения материальной точки a_r действительно найдено в инерциальной системе координат, и, что абсолютное движение материальной точки со связью можно рассматривать как сложное движение точки, рассмотрим кинематическую теорему Кориолиса.

Пусть точка A совершает сложное движение. Известно, что относительное движение точки прямолинейное движение точки по боковой грани призмы B . Переносное движение тоже прямолинейное вместе с поступательно движущейся призмой B . Так как переносное движение прямолинейное, кориолисово ускорение не возникает, и кинематическая теорема Кориолиса принимает вид

$$\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_e, \quad (31)$$

где $\vec{a}$, $\vec{a}_r$, $\vec{a}_e$ – абсолютное, относительное и переносное ускорения движения точки.

Выразим из уравнения (31) переносное ускорение

$$\vec{a}_e = \vec{a} - \vec{a}_r. \quad (32)$$

Выражение (32) в проекциях на неподвижные оси имеет вид

$$a_{ex_1} = \ddot{x}_1 - a_{rx_1}, \quad (33)$$

$$a_{ey_1} = \ddot{y}_1 - a_{ry_1}.$$

Из выражения (24) известно, что проекции абсолютного ускорения точки на неподвижные оси имеют вид

$$\ddot{x}_1 = g \cos \alpha \sin \alpha + a_B \sin^2 \alpha, \quad (34)$$

$$\ddot{y}_1 = -g \sin^2 \alpha + a_B \sin \alpha \cos \alpha.$$

Из выражения (29) проекции относительного ускорения $\vec{a}_r$ на неподвижные оси получаем в виде

$$a_{rx_1} = g \sin \alpha \cos \alpha - a_B \cos^2 \alpha, \quad (35)$$

$$a_{ry_1} = -g \sin^2 \alpha + a_B \cos \alpha \sin \alpha.$$

Тогда выражение (33) с учетом (34) и (35) принимает вид

$$a_{ex_1} = g \cos \alpha \sin \alpha + a_B \sin^2 \alpha - g \sin \alpha \cos \alpha + a_B \cos^2 \alpha = a_B, \quad (36)$$

$$a_{ey_1} = -g \sin^2 \alpha + a_B \sin \alpha \cos \alpha + g \sin^2 \alpha - a_B \cos \alpha \sin \alpha = 0.$$

Из полученных выражений (36) для определения проекций переносного ускорения движения точки на неподвижные оси, следует, что переносным ускорением для точки A в инерциальном пространстве действительно является ускорение движения призмы B . Это в свою очередь доказывает тот факт, что, когда уравнение динамики относительного движения составлено с учетом силы противодействия связи, значение ускорения относительного движения получается для инерциального пространства.

При рассмотрении влияния различных связей на движение материальной точки получаются результаты, которые позволяют сделать следующие выводы.

Выводы

1. Движение материальной точки со связью в инерциальном пространстве можно рассматривать как сложное движение точки.

2. В тех случаях, когда материальная точка со связью совершает абсолютное движение относительно какой-нибудь одной инерциальной системы координат и относительное движение относительно какой-нибудь другой инерциальной системы координат, уравнение динамики относительного движения сразу записывается в инерциальной системе координат, т.е. сразу происходит абсолютизация относительного движения точки.

3. В тех случаях, когда материальная точка со связью совершает абсолютное движение в какой-нибудь инерциальной системе координат, а ее относительное движение происходит в какой-нибудь неинерциальной системе координат, в неинерциальном пространстве возникает сила противодействия связи, численно равная силе инерции и приложенная к материальной точке. Эта сила не является продуктом механического взаимодействия тел, природа этой силы – сила тяготения, которая возникает с появлением ускорения движения призмы.

4. Возникающая в неинерциальном пространстве сила противодействия связи в уравнении динамики относительного движения является силой, которая заменяет возникающее при ускоренном движении призмы динамическое воздействие на материальную точку со стороны призмы, т.е. является силой, благодаря которой отбрасывается связь между материальной точкой и призмой, превращая подвижную неинерциальную систему координат в квазиинерциальную.

5. Уравнение динамики относительного движения материальной точки, записанное с учетом силы противодействия связи, становится уравнением динамики относительного движения, записанным в квазиинерциальной системе координат.

6. Таким образом, сила противодействия связи, возникающая в неинерциальном пространстве приводит к абсолютизации относительного движения материальной точки.

7. Уравнение динамики относительного движения материальной точки, составленное с учетом силы противодействия связи, позволяет определять значение силы реакции связи и значение относительного ускорения движения точки сразу в инерциальном пространстве.

8. При движении материальной точки со связью всегда происходит абсолютизация относительного движения и уравнение динамики относительного движения записывается или в инерциальной, или в квазиинерциальной системе координат.

Список литературы

1. Ишлинский А.Ю. Классическая механика и силы инерции. – М.: Наука, 1987. – 320 с.
2. Дронг В.И., Дубинин В.В., Ильин М.М. и др. Курс теоретической механики: учебник для вузов / под ред. К.С. Колесникова, В.В. Дубинина. – 5-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 580 с.
3. Орлянская Т.И. Об одном подходе к получению уравнения динамики относительного движения // Фундаментальные основы механики. – 2024. – № 14. – С. 36-41.

Сведения об авторе:

Орлянская Тамара Ивановна – к.т.н., доцент кафедры ФН-3 «Теоретическая механика».