

УДК 528.48

к.т.н., доцент Исаев А.П.,  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

## К ТЕОРИИ ПОЛОЖЕНИЯ

*Рассмотрены основополагающие вопросы прикладной теории положения материальных тел.*

*Ключевые слова: материальное тело, модели материального тела, положение материального тела.*

Положение материального тела в пространстве чем-то определено

**Постановка проблемы.** Движущей силой для написания данной статьи явились записки по теории погрешностей положений профессора Видуева Н.Г. [1], со дня опубликования которых прошло уже 40 лет. К сожалению, в то время вышла только первая часть, а задумывались четыре части. К тому же для четвертой части планировалось приложение, включающее строительную метрологию, теорию размерных цепей и специальный раздел инженерной геодезии, в котором “теория погрешностей положений занимает доминирующее место”.

В Записках указывается, что “еще нет достаточно строгого курса теории погрешностей положений. В нашем изложении теории погрешностей положений важное место отводится направленности мышления, выработке способов предвидения, догадки.... В блужданиях, сопутствующих решению задач теории погрешностей положений, мы стараемся указать обнадеживающий путь, наметить ключевые позиции, найти правила в процессе решения задач и возбудить любопытство”.

Несмотря на то, что прошло уже столько лет, теория погрешностей положений в инженерной геодезии применительно к возведению зданий и сооружений так и не была основательно, всесторонне развита, но цель, поставленная авторами Записок все же достигнута.

Основные исследования последних лет в этой области были сосредоточены в основном на развитии той части теории, которая имеет геометрическую и кинематическую направленность. Однако “теория погрешностей положений является физико-математической дисциплиной. Физическая основа теории погрешностей положений предопределяется физическими свойствами объектов, взаимное положение которых нужно найти,

и физическим процессом измерений, осуществляемых для решения такой задачи. Чаще всего она представляется в виде теоретической механики, различных разделов прикладной механики и технологических процессов, в которых имеет значение точность взаимного положения геометрических объектов”. Соглашаясь с этими утверждениями, мы в своей работе проводим исследования точности положения элементов строительных конструкций и точности обеспечения этих положений, основываясь на законах механики. Вопросы, касающиеся теории положения – это один из этапов таких исследований.

**Цель статьи:** разрабатывая методологию прикладной теории погрешностей положения элементов строительных конструкции крупных инженерных сооружений, осветить следующие вопросы: каким образом представлены элементы строительных конструкций в теории; что понимается под положением материального тела в кинематике, статике, динамике, а также сопоставить вопросы *определения* (измерения) действительного положения материального тела в пространстве и *обеспечения* заданного положения материального тела в пространстве и взаимного положения в системе материальных тел.

**Основной текст.** *Во-первых, положение чего рассматривается в теории?* Естественно, с точки зрения физики речь идет о положении материальных тел, каковыми являются элементы строительных конструкций. Каждое материальное тело обладает большим набором бесконечных в познании свойств и параметров. Учесть все абсолютно для решения отдельной конкретной задачи невозможно и бессмысленно. Поэтому для решения задач, абстрагируясь, одни свойства и параметры считают определяющими, а другие второстепенными. Выделяя одно и отбрасывая другое, приходят к различным моделям материального тела, отличающимся степенью абстракции. Например, если материальное тело имеет малые размеры по отношению к другим телам или по отношению к расстояниям до других тел, то размерами этого тела можно пренебречь, рассматривая его как точку. Такое абстрагирование приводит к важному понятию материальной точки: материальной точкой называется геометрическая точка, обладающая массой.

Другим примером абстрагирования от реальных тел является понятие абсолютно твердого тела. Абсолютно твердым называется тело, расстояние между точками которого остается неизменным при любых внешних воздействиях. Поэтому оно не изменяет свою форму, размеры, объем и т.д. за весь период исследований.

Противоположностью абсолютно твердого тела является деформируемое тело. Деформируемое тело – это тело, расстояние между точками которого

может изменяться под действием внешних сил или из-за изменения температуры.

Существуют также и другие модели материального тела. Применяются они в зависимости от постановки решаемой задачи.

*Во-вторых, что понимается под положением материального тела?* Под положением материального тела понимается механическое состояние тела, одним из видов которого является механическое движение или состояние покоя тела в заданном пространстве и системе отсчета.

Механическое состояние является относительным состоянием, так как все тела движутся относительно друг друга в данной системе отсчета или не движутся, находясь в состоянии покоя, на некотором расстоянии друг от друга.

В однородном и изотропном пространстве нельзя понять движется тело или находится в состоянии покоя. Чтобы увидеть это и измерить положение тела, вводится система отсчета.

Система отсчёта — это совокупность тела отсчёта, системы координат и системы отсчёта времени, по отношению к которым рассматривается движение или равновесие каких-либо материальных тел.

Если видно, что в системе отсчета тело движется, это значит, есть причины движения (например, неуравновешенная система сил заставляет его двигаться) и есть параметры движения (координаты, скорость, ускорение). При уравновешенной системе сил, когда скорость и ускорение равны нулю (частный случай движения) тело неподвижно в данной системе отсчета.

Некоторое количество материальных тел при определенных условиях может быть объединено в систему. В таком случае речь идет о положении системы материальных тел и о положении материальных тел в системе.

Положение системы материальных тел – это состояние движения или покоя системы в заданном пространстве и системе отсчета.

Положение материальных тел в системе, это к тому же взаимное положение между телами, их взаимосвязь.

Помимо положения другим важным условием является физическое взаимодействие тел друг с другом и с телами, не входящими в эту систему.

*Механическое состояние материальных тел изучает механика. В своей традиционной части она разделяется на кинематику, статику и динамику.*

**Кинематика** – раздел механики, в котором изучаются геометрические свойства движения или неподвижного состояния материальных тел, без учета сил и других факторов, определяющих эти состояния. Для описания движения принимается система отсчета, изучается траектория движения, определяются

координаты или радиус-вектор положения, скорость ( $v$ ) и ускорение ( $a$ ). В частности, если  $v = 0$ ;  $a = 0$ , то тело покоится.

Особенностью кинематики является то, что в этом разделе механики исследуются геометрические и физические параметры движения, но не рассматриваются причины движения.

Исходным в кинематике является трехмерное околоземное пространство и время. Материальное тело считается свободным, если оно может переместиться в любую соседнюю точку пространства. Попадание тела в определенную точку пространства в момент времени  $t$  называется элементарным механическим событием. Непрерывная совокупность последовательных событий составляет механическое движение. На Земле, как правило, материальные тела несвободны, а тем более инженерные сооружения и их элементы. Твердое тело считается несвободным, если на его положение в пространстве действуют ограничения – связи.

Традиционно инженерная геодезия тесно связана с кинематикой в том плане, что позволяет измерить пространственные координаты точек тела и, таким образом, провести исследования всех действительных геометрических и физических параметров движения или состояния покоя.

Так же как в кинематике в традиционной инженерной геодезии (кроме специальных приложений) не учитываются воздействия на тело внешних сил и факторов, которые вызывают и искажают движение, или создают уравновешенное положение и дисбаланс системы, не учитываются внутренние процессы, протекающие в теле, масса тела, плотность вещества и тому подобное.

С другой стороны возможности инженерной геодезии таковы, что ее методы и средства позволяют обеспечить с заданной точностью приведение и удержание тела в заданных точках пространства или на заданной траектории движения. Это совершенно иной аспект инженерной геодезии, поскольку привлекаются и используются знания других разделов механики и физики в целом. Например, для того, чтобы создать и поддерживать систему нагруженных (напряженных) и уравновешенных материальных тел, знаний одной только геометрии и применения кинематики недостаточно. Необходимо знать законы действия сил и моментов сил, учитывать положения точек приложения сил и направления линий действия сил, и особенно погрешности положений векторов сил на напряженно-деформированное состояние системы взаимодействующих материальных тел.

**Статика** – раздел механики, в котором изучаются условия равновесия материальных тел под действием приложенных к ним сил и моментов.

Материальные тела в статике рассматриваются как абсолютно твердые.

В отличие от кинематики в статике изучаются воздействия на тело внешних сил, обеспечивающих телу состояние равновесия. За внешними силами стоят другие материальные тела, которые воздействуют на данное тело, или ограничивают его перемещение в пространстве. Под внешней силой можно понимать меру механического воздействия внешнего тела на данное. Под материальными телами, ограничивающими перемещение, понимаются тела, которые называются связями.

Таким образом, данное тело, внешние тела и связи образуют в пространстве систему уравновешенных материальных тел. Задача инженерной геодезии – обеспечить с необходимой точностью заданное пространственное положение материальных тел так, чтобы все силы были уравновешены. Это сложная теоретическая и практическая задача, поскольку изменение положения хотя бы одного вектора силы (например, из-за погрешностей положения) [2] разбалансирует всю систему.

*Динамика* – раздел механики, в котором изучаются причины возникновения механического движения материальных тел под действием приложенных к ним сил и моментов.

Задачи инженерной геодезии для динамики еще сложнее, чем для статики, так как требуется обеспечить с необходимой точностью заданное движение материального тела, контролируя нагрузку на тело по векторам сил.

Использование других моделей материальных тел и других разделов механики и физики, еще больше может усложнить задачу, но с возведением массивных, многоэлементных (несущих) строительных объектов в эти области исследований когда-то надо вторгаться.

**Выводы.** Современные технологии инженерной геодезии позволяют отобразить по результатам измерений с достаточно высокой точностью геометрическую картину действительного положения элементов строительных конструкций. Однако при строительстве крупных высотных зданий и сооружений от инженерной геодезии требуется не только выполнить геометрическую разбивку и контроль положения элементов, но и обеспечить установку элементов строительных конструкций с такой точностью, которая бы обеспечивала заданное расчетом и исследованиями напряженно-деформированное состояние взаимодействующих элементов и всего сооружения в целом. Для этого методики расчета точности инженерно-геодезических работ и, соответственно, технологии обеспечения положения несущих элементов должны быть основаны как минимум на законах кинематики и статики.

### Литература

1. Видуев Н.Г. Теория погрешностей положений / Н.Г.Видуев, Ю.К.Лященко. – К.: КИСИ, 1973. – Вып. 1. – 148 с.
2. Исаев А.П. Результаты погрешностей положения вектора силы в пространственной системе координат / А.П. Исаев // Містобудування та територіальне планування. – Київ: КНУБА, 2013. – Вип. 49. – С. 225-230.

### Анотація

*Розглянуто основоположні питання прикладної теорії положення матеріальних тел.*

*Ключові слова: матеріальне тіло, моделі матеріального тіла, положення матеріального тіла.*

### Abstract

*Considered fundamental questions of applied theory provisions of material bodies.*

*Keywords: material body, material body model, the position of the material body.*