

ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

УДК 378.046: 531.01

Д. Ю. Сирота, Р. Ф. Гордиенко

МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СБОРНИКА ЗАДАЧ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПО КУРСУ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

В период перехода на двухуровневую систему образования и внедрения в образовательный процесс нового ФГОСа, всё более актуальной становится задача организации самостоятельной работы студентов.

Преподавателям всех дисциплин, а особенно ведущим занятия по общетехническим дисциплинам, приходится отвечать на вопросы: как разработать технологию организации самостоятельной работы студентов на уровне современного развития науки, как обеспечить формирование профессиональной культуры специалиста на основании самостоятельной деятельности.

Самостоятельная работа проводится с целью:

- закрепления и систематизации знаний, полученных на лекциях и практических занятиях;
- углубления и расширения знаний;
- формирования самостоятельного мышления;
- развития умения использовать полученные знания;
- развития исследовательских навыков.

Цели самостоятельной работы определяют её значение в познавательном процессе. Самостоятельная работа становится не просто формой образовательного процесса, но его основой.

В новых учебных планах 50% общего времени, планируемого на изучение дисциплины, отведено на самостоятельную работу, в которую включают изучение теории, решение задач, выполнение индивидуальных расчётно-графических работ, подготовка к зачёту или экзамену.

Усилие роли самостоятельной работы означает принципиальный пересмотр учебной работы, который должен строиться так, чтобы развивать умение учиться, формировать у студентов способность к саморазвитию, творческому применению знаний и умений, полученных при изучении той или иной дисциплины.

Значительная роль в формировании облика инженера широкого профиля отводится дисциплинам общетехнического профиля, к которым относится, в частности, и «Теоретическая механика». Цель этих дисциплин – обеспечение базы профессиональной подготовки инженера, теоретическая и практическая подготовка в области прикладной механики, развитие инженерного мышления, приобретения знаний, необходимых для изучения специальных дисциплин.

Усвоение курса теоретической механики тре-

бует не только основательного изучения теории, но получения навыков в решении задач. С этой целью разработан сборник индивидуальных заданий для выполнения расчётно-графических работ, в котором реализован новый принцип организации самостоятельной работы студента.

1. Обзор литературы.

Одним из первых сборников типовых заданий для самостоятельной работы по курсу «Теоретической механики» по праву можно считать известный «Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике» [1], разработанный коллективом из 13 авторов под общей редакцией А. А. Яблонского. Первое издание сборника вышло в 1968 году, а последнее – в 2006 году. Сборник содержит 45 заданий по всем темам курса теоретической механики: статика (9 задач), кинематика (9 задач), динамика (13 задач), аналитическая механика (9 задач), колебания механической системы (5 задач); для каждой задачи разработаны 30 вариантов рисунков и числовых данных. Таким образом, всего – 1350 разных, но в каждом случае типовых задач.

Следующий по хронологии – сборник типовых заданий для заочников [2], разработанный коллективом из 5 авторов под редакцией С. М. Тарга. Первое издание вышло в 1978, а последнее – в 1989 году. Сборник содержит 21 задание по основным темам: статика (5 задач), кинематика (4 задачи), динамика (12 задач); для каждой задачи также разработаны оригинальные рисунки, представлены числовые данные, однако количественно их уже меньше, чем в предыдущем сборнике – 10 вариантов. Таким образом, всего – 210 задач. Идеино этот сборник повторяет предыдущей, отличия коснулись только рисунков.

Развитие вычислительной техники, попытки внедрения её в процесс обучения послужил поводом для создания сборника типовых заданий [3], ориентированных исключительно на решение задач с применением ЭВМ. Сборник содержит 12 заданий по избранным темам курса теоретической механики: статика (2 задачи), кинематика (3 задачи), динамика (7 задач). Для каждой задачи разработаны 30 вариантов оригинальных рисунков, снабжённых числовыми данными. Таким образом, сборник содержит 360 задач. По сравнению с первыми двумя разработками сборник [3] содержит несколько отличительных особенностей: все зада-

чи усложнены и весьма затруднены для ручного счёта, например, задачи по динамике предполагают численное решение дифференциальных уравнений. Задачи сборника [3] являются по сути упрощёнными задачами по прикладной механике, поскольку все задачи разделов кинематика и динамика посвящены расчёту различных вариантов машин. Все образцы решения задач сборника [3] содержат ряд дополнительных вычислений, направленных на проверку, контроль правильности произведённых расчётов.

Приведённый обзор указывает на наличие двух основных направлений при составлении сборников задач: ориентация на ручной счёт [1, 2] и на применение ЭВМ [3]. Каждое из этих направлений получило дальнейшее развитие.

В рамках первого направления можно указать сборник [4], который содержит 17 заданий по основным темам курса: статика (5 задач), кинематика (4 задачи), динамика (8 задач). Все задания снабжены 30 вариантами рисунков и числовых данных, таким образом, в сборнике представлено 510 задач. Сборник [4] повторяет идейный подход сборников [1, 2] к составлению задач, однако содержит некоторые особенности: примеры решения задач по статике содержат обязательную проверку произведённых расчётов; по сравнению с [1] рисунки по всем разделам упростились, особенно это касается заданий по разделу кинематика плоского движения и темам «теорема об изменении кинетической энергии» и «принцип Даламбера».

Так же к этому направлению можно отнести и сборник [5], разработанный в КузГТУ для студентов заочного отделения. Этот сборник содержит 18 заданий по основным темам курса: статика (5 задач), кинематика (4 задачи), динамика (9 задач). Можно отметить несколько особенностей сборника: специальная согласованность рисунков и числовых данных позволяет на основе 10 рисунков создать 100 различных, но при этом однотипных, вариантов; примеры решения задач по статике содержат проверочные вычисления; задачи, относящиеся к теме «теорема об изменении кинетической энергии» и «принцип Даламбера» взаимосвязаны между собой.

Второе направление представлено сборником [6]. Он содержит 19 заданий по всем темам курса теоретической механики: статика (8 задач), кинематика (5 задач), динамика (6 задач). Каждая задача представлена в 10 вариантах, таким образом, всего 190 задач. По тематическому охвату этот сборник можно сравнить только со сборником [1], однако сами задачи по содержанию упрощены и могут быть сравнимы с задачами сборника [4]. Из особенностей этого сборника можно указать только его ориентированность на систему компьютерной математики MAPLE.

2. Методология формирования сборника типовых задач.

При планировании и составлении сборника

задач [7] авторы придерживались следующих методологических принципов.

1. Ориентация сборника на ручной счёт. Несмотря на развитие компьютерной техники и несомненный прогресс в производительности современных ЭВМ, степень их использования в образовательном процессе всё ещё достаточно мала. Поэтому разработка сборников типовых задач, ориентированных исключительно на применение ЭВМ, например [3, 6], представляется интересным, но несколько преждевременным явлением. Вместе с тем, несомненным является факт доступности всем студентам «инженерных» калькуляторов. Это позволяет разнообразить значения исходных числовых данных и формулировки заданий.

2. Единство теоретической механики, как науки. Традиционное её деление на статику, кинематику и динамику является скорее удобным методическим приёмом, чем реальностью. Как известно, динамика – это раздел механики, в котором изучаются причины возникновения механического движения, то есть установлении взаимосвязи между силами, которые действуют на точку или систему точек, и движением. Статика является частным случаем динамики, когда силы соотносятся между собой так, что движения точек отсутствует либо оно происходит с постоянной скоростью. Кинематика является разделом динамики, в котором, после установления взаимосвязи между силами и координатами в виде закона движения точек, изучается сам процесс их движения.

Единство механики позволяет рассматривать некоторые задачи с различных точек зрения:

– задачи на равновесие можно решать методами статики и динамики;

– задачи динамики на определение скорости тел, их ускорений и натяжения нитей можно решать с помощью теоремы об изменении кинетической энергии и принципа Даламбера.

Вариативность методов решения задач вполне согласуется и с общим философским подходом к решению «жизненных» проблем. Редко когда они предполагают «единственно правильное решение». Как правило, существует несколько альтернативных подходов к решению проблемы, которые остаются незамеченными из-за каких-либо причин.

3. Возможность проверки полученных результатов расчётов. Если рассматривать решение задачи как некий процесс во времени, то можно в нём выделить три этапа: подготовку, решение, проверку. Некоторые разделы теоретической механики позволяют успешно реализовать последний этап:

– в задачах на равновесие можно вычислить сумму моментов всех сил и пар сил относительно произвольной, не задействованной ранее точки;

– в разделе кинематика точки можно вычислить касательное ускорение двумя способами;

– в разделе кинематика плоского движения

весь кинематических расчёт проверяется поиском точки мгновенного центра ускорений;

– кинетическую энергию тела при плоском движении можно вычислять по теореме Кёнига или с помощью теории плоского движения и теоремы Штайнера.

Уменьшение количества часов, которые отводятся на изучение естественных дисциплин, привело к тому, что предложенный сборник охватывает только некоторые темы курса теоретической механики и содержит 8 заданий: статика – 2 задания; кинематика – 2 задания; динамика – 4 задания. Каждое задание содержит 32 варианта задач. Таким образом, всего – 256 задач. Приведём структуру сборника задач: плоская система сил (одно тело), плоская система сил (система тел); кинематика точки, кинематика плоского движения; динамика точки и вращательного движения, теорема об изменении кинетической энергии, принцип Даламбера; уравнение Лагранжа 2-го рода, принцип возможных перемещений Лагранжа.

Приведём пример реализации предложенного подхода на конкретной задаче из сборника.

ПРИМЕР. Конструкция состоит из двух частей, которые соединены шарниром (рис. 1). Найти реакцию всех опор, если известно, что $P_1 = 10$ Н, $P_2 = 12$ Н, $M = 17$ Нм, $q = 1,6$ Н/м, $DH = GF = 1$ м, $AG = BC = 1,5$ м, $HG = 2$ м, $FC = 3$ м.

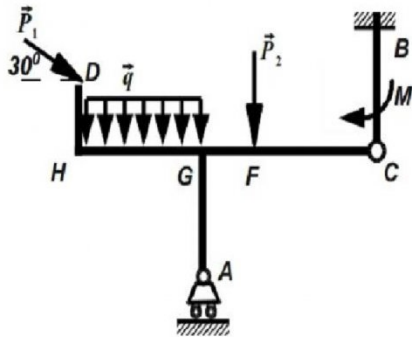


Рис. 1.

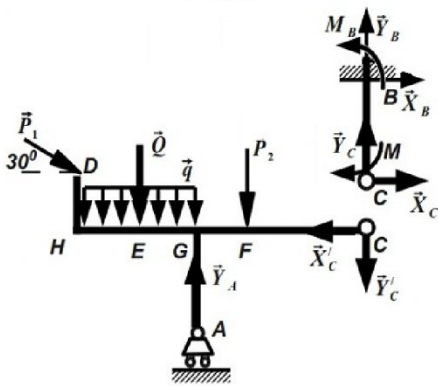


Рис. 2.

Решение методами статики.

Составим уравнения равновесия для всей конструкции в целом и для правой части в отдель-

сти (рис. 2).

$$1) R_X = P_1 \cdot \cos 30^0 + X_B = 8,66 + X_B = 0 \Rightarrow X_B = -8,66 \text{ Н,}$$

$$2) R_Y = -P_1 \cdot \sin 30^0 - Q + Y_A - P_2 + Y_B = Y_A + Y_B - 20,2 = 0 \Rightarrow Y_A + Y_B = 20,2,$$

$$3) \sum M_k = 2 \cdot Y_A - 0,5 \cdot X_B + 6 \cdot Y_B + M_B - 56,2 = 2 \cdot Y_A + 6 \cdot Y_B + M_B - 51,869 = 0 \Rightarrow Y_A + 3 \cdot Y_B + 0,5 \cdot M_B = 25,935.$$

$$4) R_X = X_B + X_C = -8,66 + X_C = 0 \Rightarrow X_C = 8,66 \text{ Н,}$$

$$5) R_Y = Y_B + Y_C = 0,$$

$$6) \sum M_k = -4,009 + M_B = 0 \Rightarrow M_B = 4,009 \text{ Нм.}$$

Отсюда $X_B = -8,66$ Н, $Y_B = 1,865$ Н, $M_B = 4,01$ Нм, $Y_A = 18,335$ Н.

Проверка:

$$\sum M_k = -P_1 \cos 30^0 \cdot 1 + P_1 \sin 30^0 \cdot 2 + Q \cdot 1 - P_2 \cdot 1 - X_B \cdot 1,5 + Y_B \cdot 4 + M_B - M = 0$$

Решение методами динамики (принцип возможных перемещений Лагранжа).

Найдём реакцию Y_A . Отбросим опору в точке A и заменим её реакцией Y_A , направленной вверх. Для определения возможных перемещений будем использовать теорию плоского движения. Сообщим рассматриваемой системе (конструкции) возможное перемещение, повернув левую часть конструкции по часовой стрелке вокруг шарнира C на возможный угол $\delta\varphi$. Вычислим возможную работу сил P_1, P_2, Q, Y_A на этом перемещении.

$$\delta A_{P_2} = -P_2 \cdot FC \cdot \delta\varphi = -36 \cdot \delta\varphi,$$

$$\delta A_{Y_A} = Y_A \cdot GC \cdot \delta\varphi = 4 \cdot Y_A \cdot \delta\varphi,$$

$$\delta A_{P_1} = (P_1 \cdot \cos 30^0 \cdot DH -$$

$$- P_1 \cdot \sin 30^0 \cdot CH) \cdot \delta\varphi = -21,34 \cdot \delta\varphi,$$

$$\delta A_Q = -Q \cdot EC \cdot \delta\varphi = -16 \cdot \delta\varphi.$$

Сумма возможных работ согласно принципу возможных перемещений должна быть равна нулю. Откуда получим $Y_A = 18,335$ Н, что совпадает с результатом, полученным выше методом статики.

Найдём реакцию X_B . Отбросим крепление в виде жёсткой заделки в точке B и заменим его реакцией X_B , направленной вправо. Сообщим точке B бесконечно малое перемещение δs_B по горизонтали. Тогда и вся конструкция за счёт подвижности опоры в точке A переместится вправо на тоже расстояние. Работа сил, линии действия которых перпендикулярны к перемещениям их

точек приложения, равна нулю. Определим величины работ оставшихся сил.

$$\delta A_{P_1} = P_1 \cos \alpha \cdot \delta s_B,$$

$$\delta A_{X_B} = X_B \cdot \delta s_B.$$

Сумма возможных работ согласно принципу возможных перемещений равна нулю. Отсюда получим $X_B = -8.66$ Н, что также совпадает с результатом, полученным выше методом статики.

Найдём реакцию Y_B . Отбросим крепление в виде жёсткой заделки в точке B и заменим его реакцией Y_B , направленной вверх. Для определения возможных перемещений воспользуемся теорией плоского движения. Вектор скорости точки C направлен вертикально вверх так, что $\vec{v}_C \perp HC$; вектор скорости точки A направлен

горизонтально вправо так, что $\vec{v}_A \perp GC$ (за счёт наличия роликов в точке A). Следовательно, МЦВ всей конструкции расположен в точке G . Вычислим возможную работу сил P_1, P_2, Q, Y_A, Y_B при повороте на возможный угол вокруг МЦВ.

$$\delta A_{P_1} = M_G(P_1)\delta\varphi = (P_1 \cdot \sin 30^\circ \cdot 2 -$$

$$- P_1 \cdot \cos 30^\circ \cdot 1)\delta\varphi = (10 - 8.66)\delta\varphi = 1.34\delta\varphi$$

$$\delta A_Q = M_G(Q)\delta\varphi = Q \cdot 1 \cdot \delta\varphi = 3.2\delta\varphi,$$

$$\delta A_{P_2} = M_G(P_2)\delta\varphi = -P_2 \cdot 1 \cdot \delta\varphi = -12\delta\varphi,$$

$$\delta A_{Y_B} = Y_B \delta s_B = Y_B \delta s_C = Y_B \cdot GC \cdot \delta\varphi, \text{ так как}$$

$$v_C = GC \cdot \omega \Rightarrow \delta s_C = GC \cdot \delta\varphi = 4\delta\varphi, \quad \text{откуда}$$

получим $\delta A_{Y_B} = Y_B \cdot 4 \cdot \delta\varphi$. Работа пары сил с моментом M при перемещении стержня BC вверх будет равна нулю (отсутствует поворот стержня BC). Сумма возможных работ равна нулю, откуда $X_B = 1.865$ Н, что совпадает с полученным выше значением.

Найдём реактивный момент M_B жёсткой заделки в точке B . Заменим жёсткую заделку в точке B цилиндрическим шарниром, к которому приложим реактивную пару сил с моментом M_B , которая совершает поворот стержня BC против часовой стрелки на возможный угол $\delta\varphi$. Тогда точка C , а вместе с ней и вся левая часть конструкции, совершит возможное перемещение на расстояние δs_C , которое найдём из теории вращательного движения:

$$v_C = BC \cdot \omega \Rightarrow \delta s_C = BC \cdot \delta\varphi = 1.5\delta\varphi.$$

Найдём работу всех сил и пар сил на этом перемещении:

$$\delta A_{M_B} = M_B \cdot \delta\varphi,$$

$$\delta A_M = -M \cdot \delta\varphi = -17\delta\varphi,$$

$$\delta A_{P_1} = P_1 \cdot \cos 30^\circ \cdot \delta s_C = 12.99\delta\varphi.$$

Работа остальных сил будет равна нулю за счёт перпендикулярности векторов сил и вектора перемещения. Сумма возможных работ равна нулю, откуда $M_B = 4.01$ Нм, что совпадает с полученным выше значением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яблонский, А. А. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике [ТЕКСТ] / А. А. Яблонский, – М.: Интеграл-пресс, 2006 г., – 382 с.
2. Котова, Л.И. Теоретическая механика. Методические указания и контрольные задания [ТЕКСТ] / Л.И. Котова и др., – М.: Высшая школа, 1982 г., – 113 с.
3. Новожилов И. В. Типовые расчёты по теоретической механике на базе ЭВМ [ТЕКСТ] / И. В. Новожилов, М.Ф. Зацепин, – М.: Высшая школа, 1986 г., – 135 с.
4. Диевский, В. А. Теоретическая механика. Сборник заданий: учеб. пособие [Электронный ресурс] / В. А. Диевский, И. А. Малышева. – 2-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2009. – 192 с.: ил. – Режим доступа http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=131 – загл. с экрана.
5. Хямяляйнен, В. А. Сборник задач по теоретической механике / В. А. Хямяляйнен, А. С. Богатырева, Р. Ф. Гордиенко, – Кемерово, КузГТУ, 2013, 83 с. Режим доступа <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90996&type=utchposob:common> – загл. с экрана.
6. Кирсанов, М. Н. Задачи по теоретической механике с решениями в Maple 11/ М. Н. Кирсанов, – М.: Физматлит, 2010 г., – 264 с.
7. Сирота Д. Ю., Гордиенко Р. Ф. Сборник индивидуальных заданий по теоретической механике. [Электронный ресурс] / Д. Ю. Сирота, Р. Ф. Гордиенко, – Кемерово: КузГТУ, 2013, –46 с. Режим доступа: <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=6744> – загл. с экрана.

Авторы статьи

Сирота Дмитрий Юрьевич,

к.т.н., доцент каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ. Email: sirotdm@gmail.com

Гордиенко Раиса Фроловна,

доцент каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ. Email: grf.tgtm@rambler.ru

Поступило в редакцию 25.11.2014