

УДК 377.5:372.8

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ СТАТИКИ В КУРСЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ В ОРГАНИЗАЦИИ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Чibaков А.С.

*Кировское областное государственное профессиональное автономное учреждение «Яранский технологический техникум», Яранск, e-mail: chas375@yandex.ru*

В статье проанализирована общепринятая последовательность решения задач статики по определению опорных реакций балок на двух шарнирах при действии вертикальной нагрузки в процессе изучения технической механики в организациях, реализующих ФГОС СПО по техническим и технологическим специальностям. Установлено, что в отечественной и зарубежной методике преподавания технической (инженерной) механики обучение решению задач данного вида производится на основе условий равновесия моментов относительно точек опор балок. А проверка полученных результатов осуществляется по условию равновесия вертикальных сил, что является лишь релятивным подтверждением правильности решения. С целью разрешения выявленного противоречия, а также эффективного формирования компетентности, развития критического и творческого мышления обучающихся автором предложен альтернативный метод определения реакций в связях двухопорных балок. Его суть заключается в последовательных эквивалентных преобразованиях и уравнивании внешней нагрузки. На конкретном примере с поясняющими изображениями подробно рассмотрено решение учебных задач новым методом. Аргументируя свою позицию, автор выделяет этапы в определении реактивных сил, указывает отличия в применении описываемого способа от традиционного подхода, а также рекомендует совместное использование данных методов, поскольку независимость их друг от друга обеспечивает абсолютное свидетельство достоверности результатов. В заключение обоснована педагогическая эффективность решения учебных задач статики на основе более совершенствованной методики обучения.

**Ключевые слова:** активные и реактивные силы, распределенная нагрузка, момент силы, пара сил, условия равновесия, равнодействующая и уравновешивающая силы, методика обучения технической механике, показатели качества и эффективности обучения

## IMPROVING TEACHING METHODS OF SOLVING PROBLEMS OF STATICS IN ENGINEERING MECHANICS IN THE COLLEGE

Chibakov A.S.

*Kirov Oblast State Professional Autonomous Institution «Yaransk Technological College», Yaransk, e-mail: chas375@yandex.ru*

The article analyzes the conventional sequence of solving problems of statics in determining support reactions of beams on two hinges under the action of vertical load in learning technical mechanics at the technical College. It is established that in our and abroad vocational education the solution of problems of this type is carried out using conditions of equilibrium of moments with respect to points of support. And verification of the results is carried out on the equilibrium condition of vertical forces, that is only a relative proof of correctness of the decision. To resolve identified contradictions, as well as the effective formation of competence, development of critical and creative thinking of students, the author proposes an alternative method to determine the reactions of supports. Its essence lies in the sequential equivalent transformations and balancing external loads. In a specific example with explanatory images in detail the solution of the educational problems by a new method. Explaining his position, the author identifies stages in the determination of the reaction forces indicates differences in the application of the described method from the traditional approach, and also encourages the work together to use these methods because of their independence from each other provides absolute evidence of the reliability of the results. In conclusion, the article substantiates the pedagogical effectiveness of training solution tasks of statics on the basis of more improved methods of teaching.

**Keywords:** active and reactive forces, distributed load, moment of force, couple of forces, conditions of equilibrium, resultant and a countervailing forces, teaching methods of technical mechanics, indicators of quality and learning efficiency

Оригинальные способы решения задач технической механики по определению реакций идеальных связей в плоской системе сходящихся сил рассмотрены в нескольких статьях, опубликованных автором в периодических научных изданиях [1–3]. Важный вывод, вытекающий из представленных рассуждений, заключается в возможности творчески подходить к решению учебных задач. В частности, эффективной формой, способствующей выражению творчества,

в учреждении среднего профессионального образования (далее СПО) может быть организация мини-исследования по нахождению реактивных сил по известным факторам активной нагрузки.

Задачи статики традиционно считаются консервативными, поэтому обычно решаются по общепринятым алгоритмам. Усвоение последовательности, способов и приемов действий при расчете реакций в связях указывает на овладение учащимися

основами методики решения задач. Однако актуальность развития в настоящее время компетентности и креативных качеств личности побуждает к поиску возможностей решения учебных задач новыми способами, не описанными ранее в методической и учебной литературе, что способствует совершенствованию методики обучения решению статических задач.

### Цель исследования

В настоящей статье раскроем положение, направленные на совершенствование методики обучения решению задач статики по определению опорных реакций балок на двух шарнирах и основанные на использовании нового метода, сущность которого заключается в последовательных эквивалентных преобразованиях и уравнивании внешней нагрузки.

### Материалы и методы исследования

В процессе исследовательской работы пересмотрены методические основы обучения решению учебных задач по определению реакций, возникающих под внешней нагрузкой в связях балок на двух опорах, в курсе технической механики в организациях, реализующих ФГОС СПО по техническим и технологическим специальностям. Проанализирована отечественная и зарубежная методическая и учебная литература по технической механике, обобщен педагогический опыт, изучены продукты деятельности обучающихся, использованы экспертная оценка, моделирование, пе-

дагогическое наблюдение, качественный и количественный анализ фактического материала, методы математической статистики, а также сравнение и аналогия, формулирование выводов и обобщение. Как результат, предложен новый метод решения исследуемого вида задач статики, который аналитически независим от традиционного способа, а в совокупности с ним позволяет достоверно подтвердить или опровергнуть истинность полученных результатов.

### Результаты исследования и их обсуждение

Выберем конкретную задачу, в которой силы приложены к балке вертикально (рис. 1). Именно такой особенностью отличаются задания для обучающихся образовательных организаций СПО, включенные в сборники задач по технической механике. Пример тому учебное пособие В.И. Сеткива [4], откуда и заимствовано задание.

Традиционно решение начинается с замены распределенной нагрузки эквивалентной сосредоточенной силой  $Q$ . Так как  $q = \text{const}$ , то  $Q = q \cdot c = 15 \cdot 6 = 90$  (кН). Точка приложения  $Q$  приходится на середину участка длиной  $c = 6$  (м), а направление  $Q$  совпадает с направлением нагрузки  $q$ . Затем выбираются вероятные направления реакций  $R_A$  и  $R_B$ , реализуется принцип освобождаемости и применяются условия равновесия. Целесообразно при этом опоры балки  $A$  и  $B$  рассматривать в качестве точек, относительно которых составляются уравнения для моментов. В нашем случае:

$$\begin{cases} \Sigma M_A = F \cdot a + M - Q \cdot \left(b + \frac{c}{2}\right) + R_B \cdot (b + c) = 0 \\ \Sigma M_B = F \cdot (a + b + c) + M - R_A \cdot (b + c) + Q \cdot \frac{c}{2} = 0 \end{cases}$$

Каждое уравнение содержит по одной неизвестной величине, что позволяет выразить и рассчитать искомые реактивные силы. Из второго равенства находится реакция  $R_A$ :

$$R_A = \frac{1}{b+c} \cdot \left[ F \cdot (a+b+c) + M + Q \cdot \frac{c}{2} \right] = \frac{1}{1+6} \cdot \left[ 10 \cdot (2+1+6) + 5 + 90 \cdot \frac{6}{2} \right] \approx 52,14 \text{ (кН)}, \quad (1)$$

а из первого равенства – реакция  $R_B$ :

$$R_B = \frac{1}{b+c} \cdot \left[ Q \cdot \left(b + \frac{c}{2}\right) - F \cdot a - M \right] = \frac{1}{1+6} \cdot \left[ 90 \cdot \left(1 + \frac{6}{2}\right) - 10 \cdot 2 - 5 \right] \approx 47,86 \text{ (кН)}. \quad (2)$$

Знаки вычисленных реактивных сил («+» или «-») указывают на правильность или ошибочность предположений об их вероятных направлениях. У нас знаки положительные ( $R_A > 0$  и  $R_B > 0$ ), значит, реакции действительно направлены вверх.

Проверка правильности найденных значений реакций производится составлением и решением уравнения равновесия для вертикальных сил после условно принятого положительного направления, например кверху. Если равенство  $\Sigma Y = 0$  соблюдается, как в рассматриваемом примере,  $-F + R_A - Q + R_B = -10 + 52,14 - 90 + 47,86 = 0$ , то делается заключение о верном решении задачи.

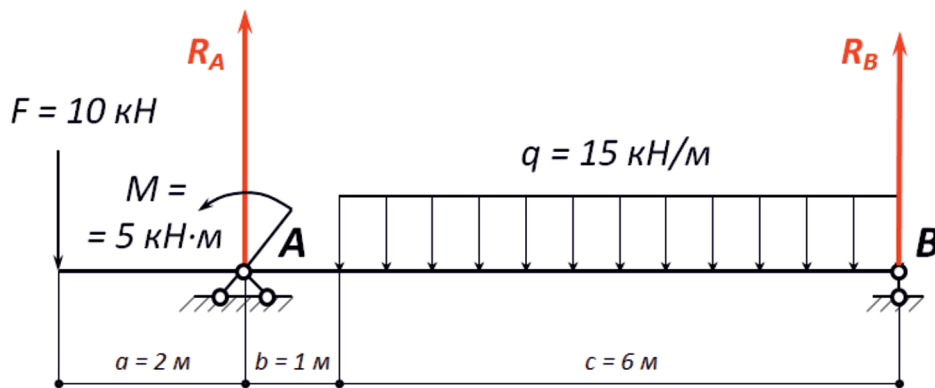


Рис. 1. Исходные данные задачи по определению реакций опор балки с выбранными направлениями реактивных сил  $R_A$  и  $R_B$

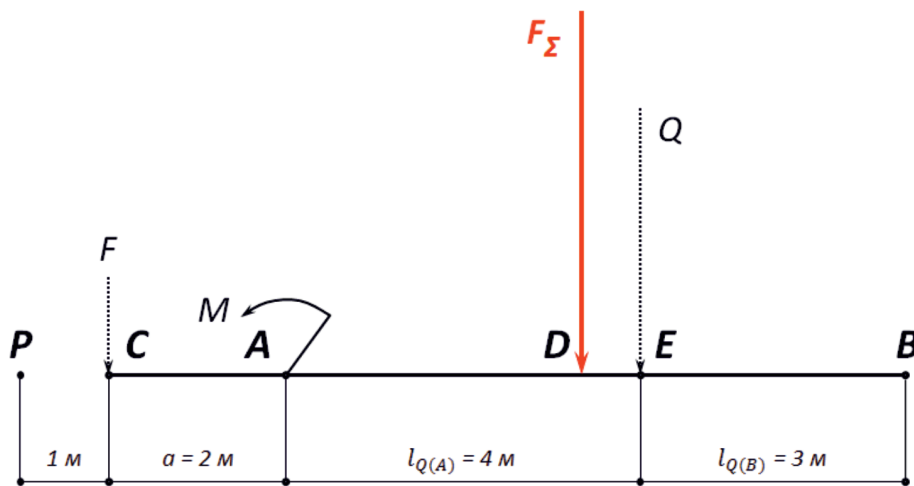


Рис. 2. Преобразования по замене сначала распределенной нагрузки  $q$  сосредоточенной силой  $Q$ , а затем ее вместе с активной силой  $F$  равнодействующей  $F_\Sigma$

Следует обратить внимание, и на это указывает многолетний опыт преподавания технической механики в учреждениях СПО, что именно проверка в традиционной методике обучения решению задач по определению реакций опор балки является релятивной, а поэтому недостаточно надежной для достоверного заключения о правильности нахождения реактивных сил. В вычислениях обучающихся имеют место случаи, когда условие равновесия для вертикальных сил выполняется, а реакции не соответствуют истинным значениям. Или, что происходит нередко, по невнимательности обучающиеся путают значения  $R_A$  и  $R_B$ . В сопротивлении материалов, когда расчет опорных реакций является начальным этапом решения задач на изгиб балки, такая ошибка приводит к неправильному определению поперечных сил и изгибающих моментов в сечениях,

неверному выбору номера профиля проката или вычислению размеров поперечного сечения балки.

Способ определения реакций в опорах балки, предлагаемый нами, основан на последовательных эквивалентных преобразованиях и уравнивании внешней нагрузки. Сущность метода заключается в том, что после замены распределенной нагрузки  $q$  равнозначной сосредоточенной силой  $Q$  находится равнодействующая  $F_\Sigma$  внешних сил и точка ее приложения: либо по правилам для параллельных одинаково направленных сил, как в нашем примере,

$$F_\Sigma = F + Q, \frac{Q}{F} = \frac{CD}{DE},$$

где  $C, D, E$  – точки приложения соответственно сил  $F, F_\Sigma, Q$  (рис. 2); либо по правилам для параллельных противоположно направленных сил.

Если в условии задачи указано более двух распределенных нагрузок и активных сил, то вместо последовательного нахождения равнодействующей каждый раз для двух сил удобнее воспользоваться правилом для моментов, создаваемых этими силами относительно произвольной точки плоскости. Исключение составляют точки  $A$  и  $B$ . Например, можно выбрать точку  $P$ , расположенную на линии балки, слева от точки  $C$  на расстоянии  $1$  м. Тогда длину отрезка  $CD$  в нашей задаче можно определить следующей зависимостью:

$$CD = \frac{Q \cdot [1 + a + l_{Q(A)}] + F}{F_{\Sigma}} - 1,$$

где  $l_{Q(A)}$  – расстояние от линии действия силы  $Q$  до точки  $A$ ,  $l_{Q(A)} = b + \frac{c}{2} = 1 + \frac{6}{2} = 4$  (м).

Поскольку  $F_{\Sigma} = Q + F = 90 + 10 = 100$  (кН), то  $CD = \frac{90 \cdot (1 + 2 + 4) + 10}{100} - 1 = 5,4$  (м).

Далее силу  $F_{\Sigma}$  необходимо уравновесить возникающими в ответ на ее действие реактивными силовыми составляющими  $R_{F_{\Sigma}}^A$  и  $R_{F_{\Sigma}}^B$  в опорах балки. Направление сил  $R_{F_{\Sigma}}^A$  и  $R_{F_{\Sigma}}^B$  можно установить из условия равновесия моментов относительно точек опор. В нашей задаче сила  $F_{\Sigma}$  относительно точки  $A$  создает отрицательный момент, для уравновешивания которого требуется положительный момент, создаваемый ответной реактивной составляющей  $R_{F_{\Sigma}}^B$ , значит,  $R_{F_{\Sigma}}^B$  направлена противоположно  $F_{\Sigma}$  (рис. 3):

$$\Sigma M_A = -F_{\Sigma} \cdot AD + R_{F_{\Sigma}}^B \cdot l_{AB} = 0,$$

где

$$AD = CD - a = 5,4 - 2 = 3,4 \text{ (м)},$$

$$l_{AB} = b + c = l_{Q(A)} + l_{Q(B)} = 1 + 6 = 4 + 3 = 7 \text{ (м)},$$

$$\text{поэтому } R_{F_{\Sigma}}^B = \frac{100 \cdot 3,4}{7} \approx 48,57 \text{ (кН)}.$$

Относительно точки  $B$  сила  $F_{\Sigma}$  создает положительный момент, уравновесить который должен отрицательный момент реактивной составляющей  $R_{F_{\Sigma}}^A$ , поэтому  $R_{F_{\Sigma}}^A$  тоже направлена противоположно  $F_{\Sigma}$  (рис. 3):

$$\Sigma M_B = F_{\Sigma} \cdot BD - R_{F_{\Sigma}}^A \cdot l_{AB} = 0,$$

так как  $DB = l_{AB} - AD = 7 - 3,4 = 3,6$  (м), то

$$R_{F_{\Sigma}}^A = \frac{100 \cdot 3,6}{7} \approx 51,43 \text{ (кН)}.$$

Проверку полученных направлений ответных реактивных силовых составляющих  $R_{F_{\Sigma}}^A$  и  $R_{F_{\Sigma}}^B$  можно выполнить с помощью правил, вытекающих из анализа принципов сложения параллельных сил:

- если равнодействующая  $F_{\Sigma}$  проходит между точкам  $A$  и  $B$ , как в нашем случае, то силовые составляющие  $R_{F_{\Sigma}}^A$  и  $R_{F_{\Sigma}}^B$  одинаково направлены (рис. 3);

- если равнодействующая  $F_{\Sigma}$  находится по одну сторону (правую или левую) от точек  $A$  и  $B$ , то силовые составляющие  $R_{F_{\Sigma}}^A$  и  $R_{F_{\Sigma}}^B$  противоположно направлены.

Остается уравновесить внешний момент  $M$  эквивалентной парой сил ( $F_M; F_M$ ) с плечом, равным расстоянию между опорами  $A$  и  $B$ , то есть  $l_{AB}$ . Если в условии задачи предлагается несколько моментов, то находится главный момент  $M_{\Sigma}$  суммированием с учетом направления каждого из них, то есть  $M_{\Sigma} = \Sigma M_i$ . В рассматриваемой задаче внешний момент один (рис. 4), поэтому  $\Sigma M = M - F_M \cdot l_{AB} = 0$ , откуда

$$F_M = \frac{M}{l_{AB}} = \frac{5}{7} \approx 0,71 \text{ (кН)}.$$

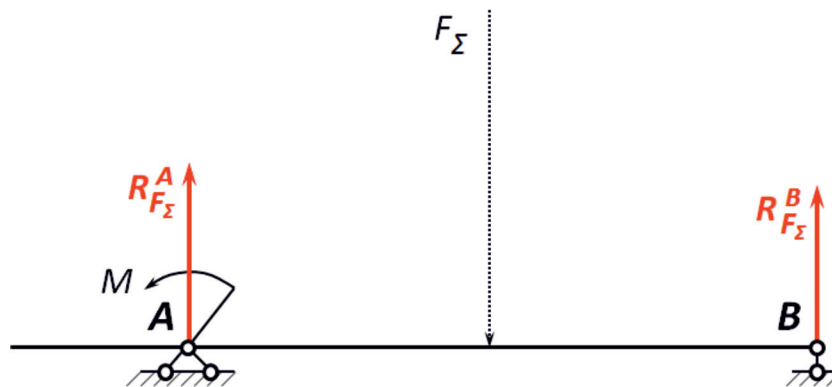


Рис. 3. Уравновешивание равнодействующей  $F_{\Sigma}$  составляющими  $R_{F_{\Sigma}}^A$  и  $R_{F_{\Sigma}}^B$

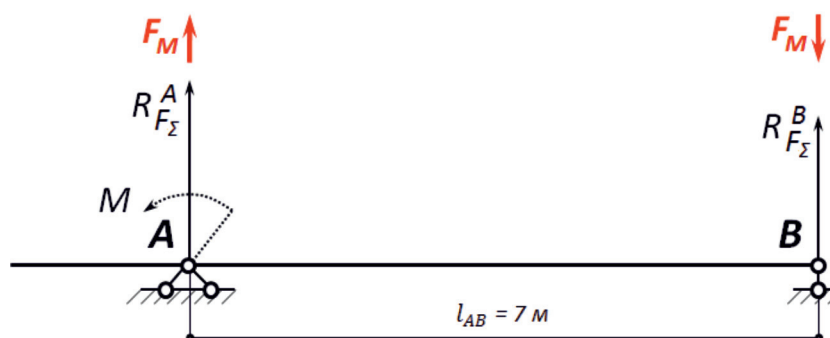


Рис. 4. Уравновешивание момента  $M$  в парой сил  $F_M$  с плечом  $l_{AB}$

Моментные составляющие  $F_M$  линиями действия совпадают с силовыми составляющими  $R_{F_{\Sigma}}^A$  и  $R_{F_{\Sigma}}^B$  и образуют с ними коллинеарные векторы. Следовательно, полные реакции в опорах  $A$  и  $B$  представляют суммы:

$$R_A = R_{F_{\Sigma}}^A + F_M \approx 51,43 + 0,71 = 52,14 \text{ (кН)}, \quad (3)$$

$$R_B = R_{F_{\Sigma}}^B - F_M \approx 48,57 - 0,71 = 47,86 \text{ (кН)}. \quad (4)$$

Итак, констатируем, что результаты решения задачи – ответы равенств (1) и (3), (2) и (4), полученные традиционным и описанным выше способом, – одинаковые.

Аналитические зависимости для реактивных сил  $R_A$  и  $R_B$  на основе предложенного метода применительно к рассматриваемой задаче по исходным данным записываются выражениями

$$R_A = \frac{\frac{F+Q}{\frac{1}{b+c}+1} + \frac{M}{b+c}}{\frac{a+b+\frac{c}{2}-a}{\frac{F}{Q}+1}} = \frac{\frac{10+90}{\frac{1}{1+6}+1} + \frac{5}{16}}{\frac{2+1+\frac{6}{2}-2}{\frac{10}{90}+1}} \approx 52,14 \text{ (кН)}, \quad (5)$$

$$R_B = \frac{\frac{F+Q}{b+c} - \frac{M}{b+c}}{\frac{a+b+\frac{c}{2}-a}{\frac{F}{Q}+1}} = \frac{\frac{10+90}{1+6} - \frac{5}{1+6}}{\frac{2+1+\frac{6}{2}-2}{\frac{10}{90}+1}} \approx 47,86 \text{ (кН)}. \quad (6)$$

Анализ существующих материалов показал, что предложенный метод определения реакций связей двухопорных балок путем последовательных преобразований и уравновешиванием сначала силовой, а затем моментной внешней нагрузки отечественными [4–8 и др.] и зарубежными – американскими [9–11 и др.] и немецкими [12; 13 и др.] – авторами учебно-методической литературы не описан.

Обобщая сказанное, отмечаем, что в рассмотренном способе решения анализируемого вида учебных задач статики можно выделить следующую последовательность: I этап – преобразование распределенных нагрузок в сосредоточенные силы. Опре-

деление равнодействующей активных сил и точки ее приложения; II этап – уравновешивание равнодействующей силы, вызываемыми в ответ реактивными составляющими в опорах балки; III этап – определение главного момента и уравновешивание его парой сил с плечом, равным расстоянию между опорами балки; IV этап – определение полных реактивных сил в опорах балки.

В сравнении с традиционным, описываемый способ решения требует более широкой реализации теоретических положений. Учащийся должен знать и уметь применять:

а) правила преобразования распределенной нагрузки в эквивалентную сосредоточенную силу (I этап);

б) принципы определения и свойства равнодействующей плоской системы параллельных сил (I и II этапы);

в) условия равновесия моментов сил относительно точки (II этап);

г) свойства главного момента и пары сил (III этап);

д) правила сложения коллинеарных векторов сил (IV этап).

При этом предложенный метод остается аналитически независимым от традиционного (классического) способа решения таких задач, что подтверждается различием выражений (1) и (5), (2) и (6), а значит, данные методы альтернативны друг другу. Совокупное использование этих подходов при определении опорных реакций балок создает неопровержимую основу для доказательства правильного или неправильного решения задач.

### Заключение

Использование разных методов в решении учебных задач обеспечивает повышение осознанности усвоения учебного материала и способствует углублению связей между теоретическими положениями, их применением в учебных задачах и практических ситуациях, а также становлению опыта исследовательской деятельности, формированию и развитию компетенций, значимых профессионально-личностных качеств обучающихся. Как следствие, более совершенной становится методика обучения будущих техников и технологов решению задач статики в курсе технической механики в организациях СПО.

Подтверждением педагогической результативности является повышение качества профессионального обучения, установленное с помощью разработанной нами методики [14]. Средний балл по технической механике вырос до 3,9...4,4 балла, интегрированные индивидуальные показатели качества обучения поднялись до индекса 3,4...4,2, а индивидуальные рейтинги учащихся достигли 71...87%. Существенно улучшились умения и качества компетентно и логично рассуждать, аргументировать, разрешать учебные проблемные ситуации, принимать рациональные решения [15]. Диагностика с использованием дихотомической шкалы выявила положительную

динамику личностных изменений, которая за семестр по процессуальным критериям составила 17...35%, а по результативным критериям – 9...16%.

### Список литературы

1. Чобаков А.С. Геометрические этюды в решении учебных задач по определению реакций идеальных связей в статике // Школа будущего. – 2016. – № 6. – С. 122–127.
2. Чобаков А.С. Метод координат в решении учебных задач статики по определению реакций идеальных связей // Школа будущего. – 2016. – № 5. – С. 134–140.
3. Чобаков А.С. Определение реакций идеальных связей в плоской системе сходящихся сил на основе свойств геометрических фигур // Глобальный научный потенциал. – 2016. – № 10 (67). – С. 28–33.
4. Сетков В.И. Сборник задач по технической механике: учеб. пособ. для использ. в учеб. процессе образоват. учреждений, реализ. программы СПО / В.И. Сетков. – 9-е изд., стер. – М.: ИЦ «Академия», 2014. – 234 с.
5. Аркуша А.И. Руководство к решению задач по теоретической механике: учеб. пособ. для машиностр. спец. вечер. и заоч. техн. / А.И. Аркуша. – Изд. 4-е. – М.: ЛИБРОКОМ, 2014. – 287 с.
6. Вереина Л.И. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.И. Вереина. – 10-е изд., стер. – М.: ИЦ «Академия», 2015. – 224 с.
7. Олофинская В.П. Техническая механика: курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий: учеб. пособ. для студентов учреждений сред. проф. образования, обучающихся по спец. технич. профилю / В.П. Олофинская. – 3-е изд., испр. – М.: Форум, 2012. – 348 с.
8. Эрдеди А.А. Техническая механика: учебник для использ. в учеб. процессе образоват. учреждений, реализ. программы СПО / А.А. Эрдеди, Н.А. Эрдеди. – 2-е изд., стер. – М.: ИЦ «Академия», 2015. – 528 с.
9. Costanzo F., Plesha M.E., Gray G.L. Engineering mechanics: Statics. – 1st ed. – N.Y.: McGraw-Hill, a business unit of The McGraw-Hill Companies, 2010. – 600 p.
10. Hibbeler R.C. Engineering mechanics: Statics. – 14th ed. – New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2015. – 678 p.
11. Pytel A., Kiusalaas J. Engineering Mechanics: Statics / SI Edition prepared by I. Sharma. – Third Edition. – Stamford: 200 First Stamford Place, 2010. – 604 с.
12. Gross D., Hauger W., Schroder J., Wall W.A. Technische Mechanik. Band 1: Statik. – B.: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. – 292 p.
13. Richard H.A., Sander M. Technische Mechanik. Statik. – Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag / GWV Fachverlage GmbH, 2008. – 221 p.
14. Чобаков А.С. К оценке качества профессионального обучения: методический аспект // Профессиональное образование. Столица. – 2016. – № 3. – С. 41–44.
15. Чобаков А.С. О проблематизации в профессиональном обучении квалифицированных рабочих, служащих и специалистов как факторе формирования опыта аргументированного принятия решений // Интернет-журнал «Мир науки». – 2016. – Т. 4, № 4. URL: <http://mir-nauki.com/PDF/44PDMN416.pdf>.