ПРЕДМЕТНАЯ ПОДГОТОВКА БУДУЩЕГО ПЕДАГОГА И СПЕЦИАЛИСТА

УДК 378.02:37.016:531.12/.13
DOI: 10.23951/2307-6127-2019-2-9-16

О ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ НА ПРИМЕРЕ ЗАНЯТИЯ ПО КУРСУ «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

О. Д. Азоркина, Е. Н. Кириллова

Томский государственный педагогический университет, Томск

В рамках актуального в настоящее время компетентностного подхода рассматриваются некоторые аспекты формирования профессиональных компетенций ПК-15 и ПК-16 у будущих учителей физики при изучении курса «Теоретическая физика. Модуль: Классическая механика». Данная дисциплина является фундаментальной составляющей теоретической подготовки педагога-физика. Формирование профессиональных компетенций у обучающихся происходит в процессе изучения конкретной темы классической механики «Функция Лагранжа. Уравнения Эйлера-Лагранжа». Проведение самостоятельных вычислений с последующими выводами приобщает студентов к элементам самостоятельной научно-исследовательской работы, что ведет к закреплению знаний и дальнейшему применению их в других дисциплинах, и фактически означает формирование компетенций ПК-15 и ПК-16.

Ключевые слова: *профессиональные компетенции, подготовка будущих учителей физики, преподавание классической механики, функция Лагранжа.*

В рамках образовательной программы ФГОС ВО по направлению подготовки «Педагогическое образование» [1] реализуется компетентностный подход для оценки результатов освоения обязательных дисциплин учебного плана. Данный подход широко обсуждается в современной педагогической литературе (см., например, [2–5]). В [3] изучаются проблемы внедрения компетентностного подхода в реальное образование, в [4] – аспекты общекультурных компетенций, формируемых в образовательном процессе, в [5] идет речь о реализации компетентностного подхода в процессе приобщения будущих учителей математики и физики к научно-исследовательской деятельности.

Мы будем рассматривать процесс формирования компетенций ПК-15 (готовность использовать теоретические и практические знания в области науки и образования по направленности (профилю) образовательной программы) и ПК-16 (способность решать исследовательские задачи в области науки и образовательной программы) на примере курса «Теоретическая физика. Модуль: Классическая механика», являющегося обязательной дисциплиной учебного плана для студентов бакалавриата по направления подготовки 44.03.05 «Педагогическое образование» (с двумя профилями подготовки), направленность (профиль): «Математика и физика» [6].

Профессиональные компетенции, устанавливаемые вузом, призваны контролировать и повышать уровень профессионального образования. Способы решения профессиональных задач будущих учителей физики могут быть различными (см., например, [7]), но компетентностный подход имеет явные преимущества, связанные со структурированием результатов познавательной деятельности обучающихся (см. [8], где реализуется компетентностный подход на примере изучения курса «Математический анализ» для будущих учителей математики и физики).

Рассмотрим, как происходит формирование указанных компетенций при изучении конкретной темы классической механики. В общей физике – курсе, предшествующем теоретической физике, при изучении динамики механических систем используется механика Ньютона, в основе которой лежат законы Ньютона и принцип относительности Галилея. В курсе теоретической физики приводятся эквивалентные формулировки классической механики – лагранжев и гамильтонов формализмы. При этом важно наглядно продемонстрировать обучающимся, как от привычного ньютоновского описания перейти к тождественному формализму – показать связь формализмов и идентичность полученных результатов.

В данной работе мы приводим один из возможных вариантов демонстрации взаимосвязи механик Ньютона и Лагранжа на примере материала для лекционного либо практического занятия со студентами. Актуальность подхода состоит в том, что в результате изучения материала студенты смогут применить имеющиеся у них теоретические знания и практические навыки в области общей физики и самостоятельно получить базовые принципы формализма Лагранжа, а это в свою очередь способствует формированию указанных компетенций ПК-15 и ПК-16, что обеспечит студентам в дальнейшем четкое понимание физических и математических аспектов концепции.

В механике Лагранжа траектория материального тела определяется принципом наименьшего действия S, зависящего от функции Лагранжа L. В классической механике функция Лагранжа (см., например, [9]) определяется как разность между кинетической T и потенциальной U энергией системы. При этом функция Лагранжа зависит от обобщенных координат q, обобщенных скоростей $\dot{q}$ и времени t, т. е.

$$L = L(q, \dot{q}, t).$$

Зная вид функции Лагранжа L исследуемой системы, можно получить уравнения движения системы – уравнения Лагранжа

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial L}{\partial q} = 0$$

[9–11]. Решив эти уравнения, мы определим характер динамики системы [10]. Таким образом, нахождение функции Лагранжа является центральной задачей классической механики. В качестве упражнения на построение и дальнейшее исследование функции Лагранжа предлагаем рассмотреть на практических аудиторных занятиях со студентами три последовательных задачи.

1. Найти функцию Лагранжа и уравнения Лагранжа для плоского маятника с массой m в однородном поле тяжести (направление ускорения поля тяжести указано на рис. 1 стрелкой). Все перемещения возможны только в плоскости рисунка. Стержень маятника – невесомый и нерастяжимый, длина его $l=const$.

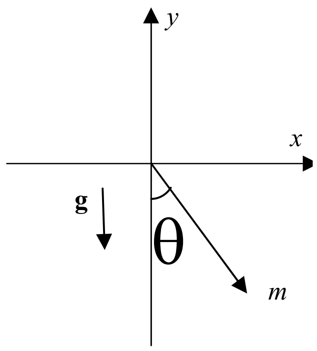

Рис. 1. Плоский маятник

По условию задачи движение маятника возможно только в плоскости *XOY*. Уравнение связи есть $l=\sqrt{x^2+y^2}$, значит, число степеней свободы системы равно единице (s =3–1–1). Для построения функции Лагранжа системы необходимо определить кинетическую и потенциальную энергии. В ньютоновской механике кинетическая энергия есть $T=mv^2/2$, где m – масса тела, v – скорость движения. Находим скорость: $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$, где $v_x=\dot{x}, v_y=\dot{y}$; получаем $v^2=\dot{x}^2+\dot{y}^2$. Выберем в качестве обобщенной координаты угол отклонения θ маятника от вертикальной оси *Oy* (обобщенная скорость $\dot{q}=\dot{\theta}$). Выражая декартовы координаты *x* и *y*, а также скорости, через угол отклонения маятника θ (см. рис. 1), получаем $x=l\sin\theta, y=l\cos\theta$. Вычислим производные по времени $\dot{x}$ и $\dot{y}$: $\dot{x}=\left(l\sin\theta\right)'_t=l\cos\theta\cdot\dot{\theta}$, $\dot{y}=\left(l\cos\theta\right)'_t=-l\sin\theta\cdot\dot{\theta}$, тогда $T=\frac{m}{2}\dot{\theta}^2l^2$. Потенциальная энергия системы есть $U=-mgy=-mg\,l\cos\theta$, где g – ускорение свободного падения. Теперь легко записать функцию Лагранжа $L=T-U=\frac{m}{2}\dot{\theta}^2l^2+mg\,l\cos\theta$. Вычислим производные $\frac{\partial L}{\partial\theta}=-mg\,l\,sin\theta$; $\frac{\partial L}{\partial\dot{\theta}}=ml^2\,\dot{\theta}$; $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{\partial L}{\partial\dot{\theta}}=ml^2\,\ddot{\theta}$ и запишем уравнение Лагранжа $\ddot{\theta}+\frac{g}{l}\sin\theta=0$.

Мы получили уравнение движения для данной системы в виде обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка.

2. Усложним предыдущую задачу: пусть точка подвеса с массой m_1 движется вдоль оси абсцисс по заданному закону $x_1=\alpha\left(t\right)$ (см. рис.2), где $\alpha\left(t\right)$ – заданная линейная функция от времени. Найти функцию Лагранжа и уравнения Лагранжа системы.

Поскольку закон движения точки подвеса задан, $x_1 = \alpha(t)$, $y = 0$, дополнительной степени свободы не возникает, и у нас по-прежнему одна обобщенная координата θ. Но для декартовой координаты *x* частицы с массой *m* получаем немного другое выражение $x = l\sin\theta + \alpha(t)$; а для *y* то же самое, что в п.1: $y = l\cos\theta$. Вычислим производные по времени $x = \left(l\sin\theta + \alpha(t)\right)'_t = l\dot{\theta}\cos\theta + \dot{\alpha}(t)$; $y = \left(l\cos\theta\right)'_t = -l\dot{\theta}\sin\theta$ и запишем выражение для кинетической энергии $T = \frac{m_1}{2}\dot{x}_1^{\,2} + \frac{m}{2}\left(\dot{x}^2 + \dot{y}^2\right) = \frac{m_1}{2}\dot{\alpha}^2 + \frac{m}{2}\left(\dot{\alpha}^2 + 2l\dot{\alpha}\dot{\theta}\cos\theta + l^2\dot{\theta}^2\right)$. Потенциальная энергия системы есть $U = -mg\,y - y_1 = -mg\,l\cos\theta$. Используя полученные выражения, запишем функцию Лагранжа

$$L = \frac{m_1}{2}\dot{\alpha}^2 + \frac{m}{2}\left(\dot{\alpha}^2 + 2l\dot{\alpha}\dot{\theta}\cos\theta + l^2\dot{\theta}^2\right) + mg\,l\cos\theta.$$

Поскольку $\alpha(t)$ – заданная функция времени *t*, первые два слагаемых в *L* не оказывают влияния на форму уравнений движения, а значит, их можно опустить. При этом в *L* можно выделить функцию, которая является полной производной от координат и времени: $\dot{\alpha}\dot{\theta}\cos\theta = \frac{d}{dt}\left(\dot{\alpha}\sin\theta\right) - \ddot{\alpha}\sin\theta$, ее также можно отбросить в дальнейших вычислениях (см., например, [10]).

В результате функция Лагранжа для данной системы примет вид

$$L = \frac{m}{2}\left(l^2\dot{\theta}^2 + 2l\left(-\ddot{\alpha}\sin\theta\right)\right) + mg\,l\cos\theta = \frac{m}{2}l^2\dot{\theta}^2 + ml\left(g\cos\theta - \ddot{\alpha}\sin\theta\right).$$

Находим уравнение Лагранжа для полученной функции *L* $\frac{\partial L}{\partial\dot{\theta}} = \frac{m}{2}l^2 2\dot{\theta}^2 = ml^2\dot{\theta}^2$; $\frac{\partial L}{\partial\theta} = ml\left(-g\sin\theta - \ddot{\alpha}\cos\theta\right)$; $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial\dot{\theta}}\right) = \frac{d}{dt}\left(ml^2\dot{\theta}\right) = ml^2\ddot{\theta}$. отбрасывая *ml*, получаем уравнение Лагранжа: $l\ddot{\theta} + g\sin\theta + \ddot{\alpha}\cos\theta = 0$. Поскольку $\alpha(t)$ – линейная функция времени (по условию), то $\ddot{\alpha} = 0$, и уравнение движения примет вид: $\ddot{\theta} + \frac{g}{l}\sin\theta = 0$. Заметим, что мы получили то же самое уравнение движения, что и в предыдущей задаче.

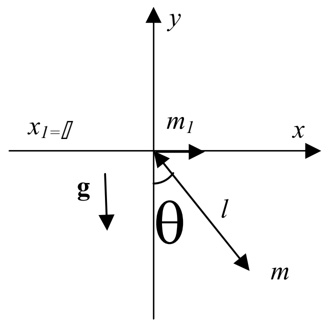

Рис. 2. Плоский маятник с движущейся горизонтально точкой подвеса

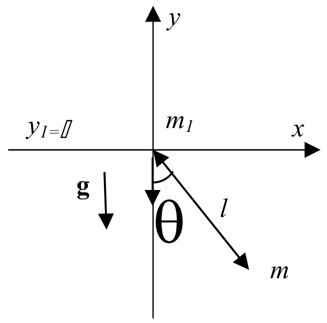

Рис. 3. Плоский маятник с движущейся вертикально точкой подвеса

3. Задача отличается от предыдущей тем, что точка подвеса с массой m_1 движется вдоль оси *ординат* по заданному закону $y_1 = \alpha(t)$ (см. рис. 3), где $\alpha(t)$ – заданная линейная функция от времени. Найти функцию Лагранжа и уравнения Лагранжа системы. Стержень длиной l по-прежнему невесомый и нерастяжимый.

Закон движения точки подвеса задан: $x_1 = 0$, $y_1 = \alpha(t)$. Для декартовой координаты x частицы с массой m имеем то же самое выражение, что в п. 1 $x = l\sin\theta$, а для y получаем $y = l\cos\theta + y_1 = l\cos\theta + \alpha(t)$. Вычислим производные декартовых координат обеих частиц по времени и запишем кинетическую энергию системы $T = \frac{m_1}{2}\left(\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2\right) + \frac{m}{2}\left(\dot{x}^2 + \dot{y}^2\right) = \frac{m_1}{2}\dot{\alpha}^2 + \frac{m}{2}\left(l^2\dot{\theta}^2 + \dot{\alpha}^2 - 2l\dot{\alpha}\dot{\theta}\sin\theta\right)$. Потенциальная энергия $U = -mg\left(l\cos\theta + \alpha(t)\right)$. Получаем функцию Лагранжа $L = \frac{m_1}{2}\dot{\alpha}^2 + \frac{m}{2}\left(\dot{\alpha}^2 + l^2\dot{\theta}^2 - 2l\dot{\alpha}\dot{\theta}\sin\theta\right) + mg\left(l\cos\theta + \alpha(t)\right)$. Как и в п. 2, первые два слагаемых в L можно отбросить. Также опускаем выражение, содержащее полную производную от координат и времени, $-\dot{\alpha}\dot{\theta}\sin\theta = \frac{d}{dt}\left(-\dot{\alpha}\cos\theta\right) + \ddot{\alpha}\cos\theta$. В итоге получаем $L = \frac{m}{2} l^2 \dot{\theta}^2 + ml(\ddot{\alpha} + g)\cos\theta + mg\alpha(t)$. Находим уравнение Лагранжа: $\frac{\partial L}{\partial \theta} =$ $-ml(\ddot{\alpha} + g)sin\theta$; $\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} = ml^2 \dot{\theta}$; $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}}\right) = ml^2 \ddot{\theta}$, тогда уравнение движения $l\ddot{\theta} + g\sin\theta + \ddot{\alpha}\sin\theta = 0$. Поскольку $\alpha = \alpha(t)$ линейная функция времени, последнее слагаемое обращается в нуль, и снова получаем уравнение Лагранжа $l\ddot{\theta} + g\sin\theta = 0$ в том же виде, как и в п. 1.

Анализируя полученные результаты решения данных трех задач с разными вариантами движения исследуемых систем, приходим к выводу об аналогичном виде функций Лагранжа и тождественных уравнениях движения. Заметим, что в случае произвольного движения точки подвеса [11] степеней свободы будет две и уравнения движения в трех случаях будут различаться.

Исследование системы «плоский маятник» позволяет наглядно продемонстрировать, как от привычных декартовых координат механики Ньютона можно перейти к обобщенным координатам механики Лагранжа. Показан алгоритм перехода и поэтапное построение функции Лагранжа, получены уравнения Лагранжа для трех вариантов задачи. Данная схема позволяет преодолеть трудности перехода от декартовых координат к обобщенным, возникающие у студентов, равно как и сложное для них построение функции Лагранжа и получение уравнений движения. Схема апробирована на студентах-физиках 2015, 2016 гг. поступления (и ранее).

Для продолжения исследования и получения более глубоких знаний по тематике дисциплины студентам-физикам может быть предложено написание курсовой работы по теоретической физике, в которой решаются полученные дифференциальные уравнения движения при малых отклонениях маятника. Полученные в обобщенных координатах траектории движения можно будет сравнить с известными из курса общей физики и изобразить графически.

Описанный в работе подход к построению занятия помогает студентам осмыслить основные понятия изучаемого предмета, глубоко понять содержание фундаментальных законов физики на примере основных моделей, получить практический опыт использования уравнений теоретической физики для исследования конкретных физических задач, овладеть навыками применения общих методов и алгоритмов теоретической физики к конкретным задачам.

В итоге студент обучается «использовать теоретические и практические знания в области науки и образования по направлению образовательной программы» (ПК-15) и «решать исследовательские задачи в области науки и образования по профилю образовательной программы» (ПК-16).

Список литературы

1. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования. URL: http://fgosvo.ru/ (дата обращения: 12.12.2018).
2. Развитие педагогического образования в России (23–27 января 2018 г.): материалы 1 Всероссийской науч.-метод. конф. с междунар. участием / отв. ред. Е. В. Гребенникова. Томск: Изд-во ТГПУ, 2018. 284 с.
3. Беляева Е. О., Катаев С. Г., Тиаго да Силва Перон, Константинова Е. Количественное оценивание уровня сформированности компетенций и модель специалиста // Научно-педагогическое обозрение (Pedagogical Review). 2018. Вып. 4 (22). С. 110–122.

4. Исмагилов Р. М. Проблемы формирования общекультурных компетенций студентов в дидактической системе организации высшего образования // Вестник Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). 2016. Вып. 12 (177). С. 117–121.
5. Жидова Л. А. Формирование профессиональных компетенций будущих учителей математики (на примере изучения курса «Математический анализ») // Научно-педагогическое обозрение (Pedagogical Review). 2017. Вып. 1 (15). С. 81–84.
6. Образовательная программа высшего образования. Направление подготовки 44.03.05 «Педагогическое образование» (с двумя профилями подготовки). Направленности (профили) «Математика и информатика», «Математика и физика». Томск: ТГПУ, 2016. 11 с. URL: https: //www.tspu.edu.ru/files/sveden/education/obr-prog/44.03.05_Matematika_i_Fizika/%D0%9E%D0%9F_44.03.05_%D0%9F%D0%9E.pdf (дата обращения: 12.12.2018).
7. Крутова И. А., Кириллова Т. В. Методическая подготовка будущих учителей к решению профессиональных задач // Научно-педагогическое обозрение (Pedagogical Review). 2017. Вып. 1 (15). С. 92–99.
8. Жидова Л. А., Мудрук В. И., Холмухаммад Ф. О проблеме формирования профессиональных компетенций будущих учителей математики и физики // Вестник Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). 2017. Вып. 4 (181). С. 84–88.
9. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Теоретическая физика: учеб. пособие: в 10 т. Т. 1: Механика. М.: Физматлит, 2017. 224 с.
10. Бороненко Т. С., Бухбиндер И. Л., Кругликов В. В. Задачи по классической механике: учеб.-методич. пособие. Томск: ТГПУ, 2003. 160 с.
11. Кудрявцева Н. В. Практикум по классической механике: учеб.-методич. пособие. Томск: ТГУ, 1986. 106 с.

Азоркина Олеся Демидовна, кандидат физико-математических наук, доцент, Томский государственный педагогический университет (ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061). E-mail: azorkina@tspu.edu.ru

Кириллова Елена Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент, Томский государственный педагогический университет (ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061). E-mail:elena@tspu.edu.ru

Материал поступил в редакцию 18.12.2018

DOI: 10.23951/2307-6127-2019-2-9-16

ON THE FORMATION OF FUTURE PHYSICS TEACHERS' PROFESSIONAL COMPETENCIES. A STUDY OF A LESSON IN THE COURSE THEORETICAL PHYSICS

O. D. Azorkina, E. N. Kirillova

Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russian Federation

Within a currently relevant competence-based approach, some aspects of the formation of professional competencies of future physics teachers when studying the course Theoretical Physics. Module: Classical Mechanics» are considered. This discipline is a fundamental component of the theoretical training of the teacher-physicist and plays the role of a knowledge basis, without which the successful activity of a physics teacher is impossible. Physics studies the general laws of the phenomena of nature, the properties and structure of matter, the forms of motion of matter and their mutual transformations. Theoretical Physics is given a primary place in the formation of the natural scientific world outlook and a holistic picture of the world, in addition, it contributes to the development of scientific thinking among students. Formation of professional competencies in students occurs in the process of studying a specific topic of Classical Mechanics: «The Lagrange function. Euler-Lagrange equations». In the study of General Physics, a course preceding the study of Theoretical Physics, in considering the dynamics of mechanical systems, Newtonian mechanics is used, which is based on Newton's laws and Galilean's principle of relativity. In the course of Theoretical Physics, equivalent formulations of Classical Mechanics are given – the Lagrangian's and the Hamiltonian's formalisms. In this paper, we consider the interrelation of Newtonian's and Lagrange's mechanics on the example of three variants of the plane flat balance problem.

Keywords: *professional competences, training future teachers of Physics, teaching Classical Mechanics, Lagrange function.*

References

1. *Portal Federal'nykh gosudarstvennykh obrazovatel'nykh standartov* [Portal of the federal state educational standards] (in Russian). URL: http://fgosvo.ru/ (accessed 12 December 2018).
2. *Razvitiye pedagogicheskogo obrazovaniya v Rossii (23–27 yanvarya 2018 g.): materialy I Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem.* Otv. red. E. V. Grebennikova [Development of teacher education in Russia (January 23-27, 2018): Materials of the I Russian National Scientific and Methodological Conference with international participation. Ed. by E. V. Grebennikova]. Tomsk, TSPU Publ., 2018. 284 p. (in Russian).
3. Belyayeva E. O., Katayev S. G., Thiago da Silva Peron, Konstantinova E. Kolichestvennoye otsenivaniye urovnya sformirovannosti kompetentsyy i model' spetsialista [Quantitative estimation of competences level formation and expert's model]. *Nauchno-pedagogicheskoye obozreniye – Pedagogical Review*, 2018, no. 4 (22), pp. 110–122 (in Russian).
4. Ismagilov R. M. Problemy formirovaniya obshchekul'turnykh kompetentsyy studentov v didakticheskoy sisteme organizatzii vysshego obrazovaniya [Problems of formation of common cultural competencies of students in the didactic system of higher education]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2016, no. 12 (177), pp. 117–121 (in Russian).
5. Zhidova L. A. Formirovaniye professional'nykh kompetentsyy budushchikh uchiteley matematiki (na primere izucheniya kursa «Matematicheskiy analiz») [Formation of professional competence of future mathematics teachers (the example of «Mathematical amalysis» study)]. *Nauchno-pedagogicheskoye obozreniye – Pedagogical Review*, 2017, no. 1 (15), pp. 81–84 (in Russian).
6. *Obrazovatel'naya programma vysshego obrazovaniya. Napravleniye podgotovki 44.03.05 «Pedagogicheskoye obrazovaniye» (s dvumya profilyami podgotovki). Napravlennosti (profili) «Matematika i informatika», «Matematika i fizika»* [Educational program of higher education. Direction of training: 44.03.05 Pedagogical education (with two training profiles). Orientation (profiles) «Mathematics and Informatics», «Mathematics and Physics»]. Tomsk, TSPU Publ., 2016. 11 p. (in Russian). URL: https://www.tspu.edu.ru/files/sveden/education/obr-prog/44.03.05_Matematika_i_Fizika/%D0%9E%D0%9F_44.03.05_%D0%9F%D0%9E.pdf (accessed 12 December 2018).
7. Krutova I. A., Kirillova T. V. Metodicheskaya podgotovka budushchikh uchiteley k resheniyu professional'nykh zadach [Methodical training of the future teachers of physics for solving professional problems]. *Nauchno-pedagogicheskoye obozreniye – Pedagogical Review*, 2017, no. 1 (15), pp. 92–99 (in Russian).
8. Zhidova L. A., Mudruk V. I., Kholmukhammad F. O probleme formirovaniya professionalnykh kompetentsyy budushchikh uchiteley matematiki i fiziki [About a problem of formation of professional competencies of future mathematics and physics teachers]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2017, vol. 4 (181), pp. 84–88 (in Russian).
9. Landau L. D., Livshits E. M. *Teoreticheskaya fizika: ucheb. posobiye v 10 t. T. 1. Mekhanika* [Theoretical Physics: manual in 10 volumes. T. 1. Mechanics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2017. 224 p. (in Russian).
10. Boronenko T. S., Bukhbinder I. L., Kruglikov V. V. *Zadachi po klassicheskoy mekhanike: ucheb.- metodich. posobiye* [Problems in Classical Mechanics: Teaching guide]. Tomsk, TSPU Publ., 2003. 160 p. (in Russian).
11. Kudryavtseva N. V. *Praktikum po klassicheskoy mekhanike: ucheb.-metodich. posobiye* [Practical work on classical mechanics: teaching guide]. Tomsk, TSU Publ., 1986. 106 p. (in Russian).

Azorkina O. D., Tomsk State Pedagogical University (ul. Kiyevskaya, 60, Tomsk, Russian Federation, 634061). E-mail: azorkina@tspu.edu.ru

Kirillova E. N., Tomsk State Pedagogical University (ul. Kiyevskaya, 60, Tomsk, Russian Federation, 634061). E-mail: elena@tspu.edu.ru