СТРУКТУРНО-СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПРАВОВОЙ КУЛЬТУРЫ БУДУЩИХ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ РАБОЧИХ-МОРЯКОВ

Ежокина Юлия Ивановна
аспирантка
Институт профессионально-технического образования НАПН Украины, г. Киев

В статье актуализировано проблему целенаправленного формирования правовой культуры будущих квалифицированных рабочих-моряков. Истолковано термин «правовая культура будущих квалифицированных рабочих-моряков» как интегральное свойство, характеризующее уровень развития личности в сфере права, оказывается в правомерной профессиональной деятельности и законопослушном поведении квалифицированного рабочего-моряка и требует владения правовым минимумом в области трудового и гуманитарного права, национального и международного законодательства по судоходству, навыков правомерных действий и необходимых профессионально-нравственных качеств. На основе анализа содержания феномена конкретизировано структуру правовой культуры будущих квалифицированных рабочих-моряков как единство мотивационно-ценностного, когнитивного, деятельностного, личностно-рефлексивного и эмоционально-волевого компонентов.

Ключевые слова: *правовая культура, квалифицированные рабочие-моряки, родовое понятие, видовой признак, структура, компонент.*

Отримано редакцією 07.06.2019 р.

УДК 378.147+530:531.3
DOI: 10.31376/2410-0897-2019-2-40-132-140

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ВИЧЕННЯ ТЕМИ «ОСНОВНА ЗАДАЧА ДИНАМІКИ ЗВ'ЯЗАНИХ СИСТЕМ»

Завражна Олена Михайлівна
кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та методики навчання фізики
Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка
e-mail: zavragna@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-7716-7138

Мороз Іван Олексійович
доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики та методики навчання фізики
Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка
e-mail: students11.2016@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-4965-1352

Стаття присвячена висвітленню методичних аспектів вивчення теми «Основна задача динаміки зв'язаних систем». На відміну від загального курсу «Механіка», при вивченні теоретичного курсу «Класична механіка» уже на початковому етапі − при формулюванні основної задачі механіки систем із в'язями − студенти стикаються з багатьма узагальненими і абстрактними поняттями, формування яких ставить перед викладачами безліч методичних проблем, які потрібно вирішити. Авторами статті узагальнено результати аналізу навчальних посібників та власного досвіду. На основі цього розглянуто один із можливих способів обґрунтування основної задачі механіки зв'язаних систем. Згідно з цим способом пропонується спочатку введення таких понять: механічні системи, механічні в'язі, класифікація в'язей, аксіома про звільнення від в'язей. Такий підхід дозволяє сформувати у студентів достатньо глибоке й стійке розуміння цих понять та суттєво полегшує формулювання основної задачі механіки невільної системи.

Ключові слова: вчителі фізики, класична механіка, в'язі, сили реакції, механічна система.

Постановка проблеми. Розвиток сучасної науки, впровадження її досягнень у виробництво та побут, прагнення вищої освіти України до підготовки фахівців, здатних працювати за європейськими стандартами, вимагає значного посилення фундаментальної компоненти в освітньому процесі [1]. Тому сучасні навчальні посібники і все науково-методичне забезпечення освітнього процесу повинні базуватися на деяких загальних теоріях, які є фундаментом усієї теоретичної підготовки. Таким фундаментом при підготовці фахівців фізико-математичного профілю, особливо вчителів фізики, є загальні принципи, які в компактній формі містять не лише всі відомі експериментальні та теоретичні положення, але й дозволяють прогнозувати нові відкриття. Такі принципи дійсно були відкриті – це інтегральні варіаційні принципи, які вперше були сформульовані в механіці, і при підготовці вчителів фізики вони починають вивчатися в курсі теоретичної фізики у першому її розділі – «Класична механіка». Але на відміну від загального курсу «Механіка», у якому студенти лише поглиблюють свої шкільні знання, при вивченні класичної механіки уже на початковому етапі, при формулюванні основної задачі механіки систем із в’язями, вони стикаються з багатьма узагальненими і абстрактними поняттями, формування яких ставить перед викладачами безліч методичних проблем, які потрібно вирішити.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що питання формулювання основної задачі вивчення зв’язаних механічних систем залишилося поза увагою методичної науки, воно зовсім не висвітлене у методичній літературі й лише фрагментарно описується в деяких навчальних посібниках [2–6], що є недостатнім і необґрунтованим.

Тому метою статті є висвітлення методичних аспектів вивчення теми «Основна задача динаміки зв’язаних систем».

Виклад основного матеріалу. Узагальнивши результати аналізу навчальних посібників і власного досвіду, зупинимось детальніше на розгляді одного із можливих варіантів обґрунтування основної задачі механіки зв’язаних систем, який ми використовуємо на перших лекціях з класичної механіки.

Мета вивчення теми передбачає ознайомлення студентів з різними класами механічних систем, з класифікацією в’язей.

Згідно з метою зміст теми розкривається за допомогою таких питань:

– механічні системи;
– механічні в'язі;
– формулювання обмежень, які накладають в’язі;
– наведення класифікації в’язей;
– введення аксіоми про звільнення від в'язей;
– ознайомлення з поняттям сили реакції в’язей;
– наголошення на проблемах, що вносять в'язі у розв’язання основної задачі динаміки невільних систем.

Вивчення теми доцільно розпочати з нагадування, що у класичній механіці Ньютона в основному розглядаються системи тіл (механічні системи), кожне з яких могло займати будь-яке положення у просторі, наприклад, сонячна система. Такі системи називаються вільними. Сили, що діють на тіла системи з боку інших тіл системи або тіл, що не входять у систему, будемо надалі називати активними силами. Тіла, що не входять у систему, яка розглядається в механіці Ньютона, важливі лише тим, що вони створюють своє силове поле, яке потрібно враховувати у рівняннях руху тіл системи, але ці зовнішні тіла не перешкоджають самому руху тіл. Це означає, що ми не враховуємо, що ці сторонні (для системи) тіла самі займають деякий об’єм у просторі, і тіла нашої системи уже не можуть бути у цих частинах простору. Такий спрощений підхід цілком виправданий для фізичних задач. Але для прикладних задач, тобто задач техніки, виникає принципово інша ситуація. Наприклад, при вивченні руху деталей деякого механізму місце, яке заняте деякою деталлю, вже не може бути зайнятим іншою деталлю, тобто тут існують певні обмеження на рух тіл системи.

Отже, слід звернути увагу студентів на те, що на практиці часто доводиться стикатися з такими системами, у яких взаємодія тіл між собою або з зовнішніми тілами накладає обмеження на їх можливі положення у просторі або (і) на їх швидкості. Такі механічні системи називаються невільними (зв'язаними), а тіла чи обставини, які накладають обмеження на рух тіл системи, називають механічними в'язями (для простоти у подальшому – в’язі або зв’язки).

Далі студентам наводяться приклади невільної системи: будь-яке тверде тіло, наприклад, більярдна куля, що котиться по деякій поверхні і т. п., і нарешті, будь-який механізм.

Конкретний механізм взаємодії тіл системи з в’язями заздалегідь визначити неможливо. Тому цікавим є аналіз питання про очевидні обмеження, які накладають указані тіла на рух точки, на її траєкторію та швидкість.

Дійсно, аналіз дослідних фактів показує, що у випадку невільних систем завжди можна записати рівняння, яке описує ті обмеження, які накладають в'язі на систему. У розглянутому прикладі (куля радіуса R) очевидно, що рівнянням в'язі буде рівняння $z=R$, якщо координатна площина XoY є поверхнею столу. Як правило, рівняннями в'язей є рівняння ліній, поверхонь або частин простору, що обмежують положення та швидкості матеріальних точок системи.

На лекції також потрібно відзначити ще одну важливу обставину, яка в подальшому ще не раз буде використовуватись. Більярдна куля може розглядатись як абсолютно тверде тіло і тому має 6 ступенів вільності. Але, коли ми наклали на кулю в'язь ($z=R$), її положення відносно вибраної системи координат буде однозначно описуватись двома координатами центру мас і трьома кутами між осями координат, які пов'язані із кулею (кути Ейлера) і нерухомими осями X, Y, Z. Далі студентам пропонується змінити рівняння в'язі ($z=R$) на ($z\geq R$), робиться висновок про те, що це буде нова в'язь, яка заборонила б кулі «провалюватись під стіл», але не забороняла б їй бути над столом, і в такому випадку її положення у просторі описувалось би трьома координатами центру і трьома кутами Ейлера. Доходимо висновку, що лише накладання в'язей, рівняння яких є рівність, зменшує кількість ступенів вільності на величину, яка рівна кількості в'язей. І це, як показує аналіз, є загальним правилом, яке виконується і для системи матеріальних точок чи системи тіл, які не можна розглядати як матеріальні точки.

Потім студентам пропонуються приклади, які ілюструють поняття в'язей, а також наводяться рівняння в'язей:

1. Дві точки з координатами $M_1(x_1,y_1,z_1)$ і $M_2(x_2,y_2,z_2)$ (рис. 1) з'єднані жорстким стрижнем довжиною l.

Умова збереження відстані між двома точками (рівняння в'язі) може бути записана так:

$$(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2-l^2=0 \qquad (1)$$

Але якщо ці точки зв'язані гнучкою нерозтяжною ниткою довжиною l, рівняння в'язі буде мати вигляд:

$$(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2-l^2\leq 0 \qquad (2)$$

2. Нехай у нерухомій відносно Землі точці O (рис. 2) на сферичному шарнірі підвішений невагомий абсолютно твердий стрижень OA, на кінці якого (точка A) розміщено матеріальну точку (частинка) з деякою масою (така система називається сферичний маятник).

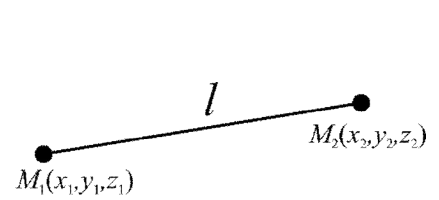

Рис. 1 Дві точки з координатами $M_1(x_1,y_1,z_1)$ і $M_2(x_2,y_2,z_2)$ з'єднані жорстким стрижнем довжиною l.

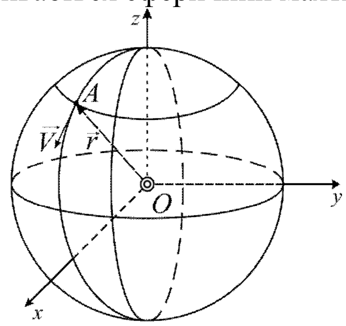

Рис. 2 Сферичний маятник

Якщо цю частинку вивести із положення рівноваги і надати їй деякої початкової швидкості у довільному напрямі перпендикулярному OA, то частинка буде здійснювати достатньо складний рух, але весь час буде залишатись на поверхні сфери радіусом $l=OA=const$. Отже рівнянням в'язі, якою для частинки є стрижень OA, буде вираз

$$x^2+y^2+z^2-l^2=0\,. \qquad (3)$$

Слід звернути увагу студентів на те, що ефект дії тіл (в'язей), які обмежують рух тіл системи, аналітично описується рівнянням в'язі. Тому в аналітичній механіці під в'язями часто розуміють не конкретні тіла, а рівняння в'язі, наприклад (2), (3), які й описують обмеження.

Із рівняння в'язі (3) видно, що ця в'язь може накладати обмеження не лише на положення матеріальної точки, але й на її швидкість. Дійсно, якщо виконати диференціювання (3), то одержимо:

$$x\dot{x} + y\dot{y} + z\dot{z} = 0. \qquad (4)$$

Або $\vec{r} \cdot \vec{V} = 0$, тоді $\vec{V} \perp \vec{r}$, тобто швидкість точки *A* мусить бути дотичною до траєкторії, отже, лежати в площині, дотичній до сфери в точці *A* (рис. 3). Розглянуту в'язь можна описати аналітично і у сферичній системі координат: *r=const*, де *r=l=OA*.

Положення матеріальної точки *A* у просторі описується трьома координатами (рис. 3), але лише дві з них є незалежними, а третю можна виразити із рівняння в'язі. Тому зображена на рис. 3 матеріальна точка *A* має 2 ступеня вільності.

Далі пропонується змінити обставини, за яких почався рух матеріальної точки на рис. 3. Відведемо стрижень *OA* разом із матеріальною точкою на деякий кут в площині *XoY* і відпустимо (для простоти) без початкової швидкості. Це буде вже не сферичний, а математичний маятник, який при малих кутах, як відомо із механіки Ньютона, здійснює гармонійні коливання, і траєкторією буде частина кола радіуса *OA* (рис. 3).

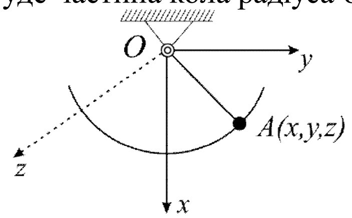

Рис. 3 Математичний маятник, який здійснює гармонійні коливання

У цьому випадку в'яззю, як і раніше, буде стрижень *OA*, рівнянням цієї в'язі буде

$$x^2 + y^2 = l^2. \qquad (5)$$

Бачимо, що це рівняння, тобто ця в'язь, не накладає обмежень на координату *z*, яка при цьому не змінюється. Отже, потрібно записати рівняння ще однієї в'язі;

$$z=0. \qquad (6)$$

Слід звернути увагу студентів на те, що ця в'язь виникла через обставини: ми відхилили матеріальну точку від положення рівноваги і відпустили, але не надали матеріальній точці початкової швидкості, у якої $V_z = 0$, тому під дією двох сил (тяжіння і реакції в'язі *OA*), що лежать в одній площині, рух без початкової швидкості можливий лише в цій самій площині. Але зрозуміло, що в'язь $z=0$ обумовлена взаємодією математичного маятника із Землею.

Знову доходимо висновку, що кожна накладена утримуюча в'язь зменшує кількість ступенів вільності. У розглянутому випадку (математичний маятник) частинка має лише один ступінь вільності. У якості незалежної координати може бути як *x,* так і *y*. Але якщо використати полярну систему координат і полярну вісь сумістити з віссю *OX* (рис. 2), то полярна координата φ теж однозначно визначить положення частинки у просторі, тобто буде незалежною координатою.

Далі замінюємо стрижень *OA* гнучкою нерозтяжною ниткою й аналізуємо разом зі студентами, що точка *A* не зможе віддалитись від точки *O* більше, ніж на віддаль, що дорівнює довжині нитки (*l*), але зможе наблизитись до точки *O* внаслідок згинання нитки (момент настання згинання визначається за перетворенням на нуль реакції в'язі – натягу нитки). Отже, координати точки *A* мусять задовольняти умові:

$$x^2 + y^2 + z^2 - l^2 \le 0\,, \qquad (7)$$

яка і є рівнянням в'язі у даному випадку.

Нарешті, прив'язавши точку *A* до гумової нитки, довжина *l* якої змінюється за певним законом *l* = *l*(*t*), одержимо, що час *t* увійде явно в рівняння в'язі:

$$x^2 + y^2 + z^2 - l^2(t) = 0\,. \qquad (8)$$

Таким чином, наголошуємо, що всі в'язі математично задаються рівняннями, які описують обмеження на координати та швидкості точок невільної системи.

Потім переходимо до класифікації в'язей. Усі в'язі поділяють на голономні і неголономні. Найбільш простими і найбільш поширеними в'язями є голономні.

Голономні в'язі – це в'язі, рівняння яких є функцією тільки координат точок і можливо часу:

$$\begin{aligned} &f_\alpha(\vec{r}_1,\vec{r}_2,...,\vec{r}_N,t)=0, \\ &\alpha=1,2,..k. \end{aligned} \tag{9}$$

Неголономні – це в'язі, рівняння яких, крім часу і координат точок, містить і похідні від координат, тобто

$$f(\vec{r}_1,\vec{r}_2,...,\vec{r}_N,\vec{V}_1,\vec{V}_2,...,\vec{V}_N,t)=0. \tag{10}$$

У деяких випадках в'язі, у рівняння яких входять похідні від координат, можуть бути проінтегровані і зведені до виду (9), тому їх теж уважають голономними [7]. Наприклад, в'язь (8) після інтегрування переходить у (9), тобто це дійсно голономна в'язь.

Голономні і неголономні в'язі, у свою чергу, можуть бути стаціонарними і нестаціонарними, утримуючими і неутримуючими, ідеальними і реальними.

Стаціонарні в'язі – це в'язі, рівняння яких у явному вигляді не містить час. Утримуючі в'язі задаються рівнянням у вигляді рівності. Якщо рівняння в'язі має вигляд нерівності, то такі в'язі – неутримуючі.

Можна запропонувати студентам самостійно розглянути та проаналізувати ще один приклад голономних утримуючих стаціонарних в'язей, що діють на деталі кривошипно-шатунного механізму (рис. 4), який є обов'язковим елементом усіх двигунів внутрішнього згоряння.

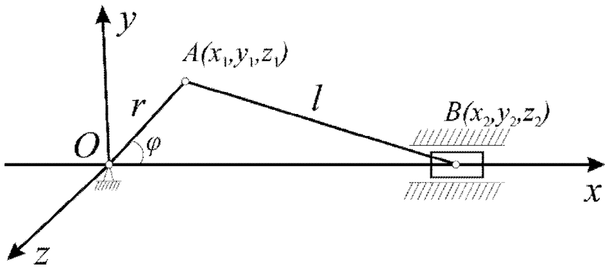

Рис. 4 Приклад голономних утримуючих стаціонарних в'язей, що діють на деталі кривошипно-шатунного механізму

Положення всіх точок кривошипно-шатунного механізму у просторі у довільний момент часу (на перший погляд) визначається координатами двох крайніх точок шатуна AB, кожна із яких має 3 ступені вільності (всього − 6). Але на деталі механізму накладено 5 в'язей, рівняння яких записані нижче, тобто 5 із 6 координат можна виразити через рівняння в'язей, отже, незалежних координат – лише одна.

Запишемо рівняння в'язей:

$$z_1=z_2=y_2=0,$$
$$x_1^2+y_1^2+z_1^2=r^2,$$
$$(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2=l^2,$$

де x_1, y_1, z_1 і x_2, y_2, z_2 – відповідно, координати точок A і B.

Вибір незалежної координати диктується умовою задачі і міркуваннями простоти її розв'язання. У випадку кривошипно-шатунного механізму – доцільно вибрати кут φ, а декартові координати не завжди однозначно визначають положення цього механізму. Наприклад, координаті x точки B на рис. 4 може відповідати два положення точки A (над та під віссю OX).

Різного роду технічні машини і механізми є прикладами дуже складних невільних систем з голономними в'язями, але число ступенів вільності таких систем, зазвичай, не перевищує одиниці. Дійсно, конструкція машин така, що її положення і рух однозначно визначаються положенням і обертанням ведучої ланки, наприклад – кривошипу OA (рис. 4). Кут повороту кривошипу може бути прийнятий за єдину незалежну координату.

Слід наголосити, що якщо на систему накладено k утримуючих в'язей, то це призводить до зменшення кількості ступенів вільності на k. Наприклад: вільна точка має три ступені вільності, точка, яка рухається по площині (рівняння в'язі z=0) має 2 ступеня вільності. Точка, що рухається по прямій, наприклад, уздовж вісі OX (2 рівняння в'язі: y=0, z=0), має один ступінь вільності. Отже, система N точок, на яку накладено k утримуючих в'язей, має $(3N\text{-}k)$ ступенів вільності.

Далі переходимо до *аксіоми про звільнення від в'язей*: рух механічної системи не зміниться, якщо в'язі відкинути і одночасно докласти до системи сили, які виконують таку ж дію, як і відкинуті в'язі.

За допомогою теореми вводиться поняття сили реакції в'язей. Дійсно, обмеження на положення чи на швидкості (та переміщення) відбувається внаслідок взаємодії тіл системи з в'язями, тобто існують сили, які діють на в'язі, і рівні їм і протилежно направлені сили, з якими в'язі діють на тіла системи. Наголошується на характерній властивості сил реакції в'язей: їх величина і напрям залежать від величини і напряму активних сил та від особливостей руху системи. Стан матеріальних тіл (в'язей), які шляхом безпосереднього контакту або опосередковано (див. математичний маятник) діють на тіла системи і обмежують положення у просторі, як видно із розглянутих раніше прикладів в'язей, вважається заданим. Ці тіла (в'язі) можуть бути як абсолютно твердими, так і деформуватись (рухатись) за відомим законом. Зрозуміло, що при русі системи кількість в'язей завжди менша за кількість ступенів вільності $(3N)$ вільної системи із N матеріальних точок, оскільки в іншому випадку всі матеріальні точки системи були б нерухомими.

Очевидно, що у випадку вільних систем взаємодія передається тільки за допомогою силових полів, а у випадку невільних систем найчастіше шляхом безпосереднього контакту. Сили реакції в'язей – це, як правило, відомі нам сили пружності чи тертя, але їх величину і напрям заздалегідь визначити неможливо.

Акцентуємо увагу студентів на тому, що у шкільному курсі фізики та в курсі загальної фізики, аксіома про звільнення від в'язей (часто називають «принцип») широко використовується, але на її (його) значенні увага не концентрується, і сили реакції розглядаються як звичайні сили. Але при побудові аналітичної механіки звертається увага на різні властивості в'язей і виділяється їх окремий клас – ідеальні в'язі і, відповідно, виділяються їх сили реакції.

Сили реакції в'язей уважають пасивними, тому що вони виникають лише як відповідь дії активних сил і вони заздалегідь невідомі.

Далі наголошуємо, що згідно із аксіомою про звільнення від в'язей в'язі відкидаються, але аналітичне обмеження на координати чи їхні похідні (рівняння в'язі) зберігається.

В'язь називається ідеальною, якщо сила реакції перпендикулярна до переміщень точки, до якої вона прикладена, при цьому переміщення не повинні порушувати стаціонарну в'язь (це означення у подальшому буде конкретизуватись), в іншому випадку в'язь неідеальна. У розглянутих випадках зі сферичним і математичним маятником, коли OA=*const* (в'язі утримуючі і стаціонарні) матеріальна точка могла рухатись лише перпендикулярно до сили реакції, тобто всі ці в'язі – приклади ідеальних в'язей. Ідеальною буде в'язь, наприклад, для шайби, яка ковзає по дуже гладенькому льоду (тертям нехтуємо).

Але у багатьох випадках силою тертя не можна знехтувати, і сила реакції не перпендикулярна тому руху, який допускає стаціонарна в'язь. Такі в'язі неідеальні. Отже, якщо сила реакції не перпендикулярна до переміщення, яке допускає стаціонарна в'язь, то така в'язь називається реальною.

Далі пояснюється, як же бути у випадках, коли має місце тертя. Для цього існує простий метод перетворення реальної в'язі на ідеальну: повну реакцію реальної в'язі, яка відхилена від нормалі у точці дотику матеріальної точки і в'язі, розкладають на нормальну і тангенціальну складові. Тангенціальну складову називають силою тертя. Її виражають через нормальну складову $\left|\vec{N}\right|$ і коефіцієнт тертя *f,* який визначається дослідним шляхом:

$$\vec{F}_{т.} = -f\left|\vec{N}\right|\frac{\vec{V}}{V}, \qquad (11)$$

і *включають у число діючих (активних) сил, а в'язь, яка була реальною, лише із її нормальною силою реакції вже вважають ідеальною.*

Так як на практиці у більшості випадків доводиться зустрічатися з голономними в'язями, які задаються аналітично у вигляді рівнянь (9) і реалізуються у вигляді шарнірів, стрижнів, ниток, осей, площин, валів, опор і т. п., то наголошується, що у подальшому доцільно розглядати лише утримуючі голономні в'язі.

Отже, нехай є механічна система із *N* матеріальних точок, на яку діють задані (активні) сили і її рух обмежений *k* голономними утримуючими в'язями.

Введення понять про в'язі та їх реакції *дозволяє сформулювати основну задачу механіки невільної системи N матеріальних точок із голономними в'язями як задачу про пошук закону руху всіх точок системи і визначення сил реакцій усіх в'язей*, що можливо зробити за умови, якщо відомі задані сили і рівняння голономних в'язей. Ця задача зводиться до знаходження спільного розв'язку рівнянь руху

$$\begin{aligned} &m_i \cdot \ddot{\vec{r}}_i = \vec{F}_i + \vec{R}_i, \\ &i = 1,2,...,N. \end{aligned} \qquad (12)$$

і рівнянь в'язей (9) з урахуванням початкових умов, які задаються у відповідності до рівнянь в'язей. У виразах (9) і (12) N − кількість матеріальних точок системи, k − кількість в'язей, $\vec{F}_i = \vec{F}_i^e + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N} \vec{F}_{ij}^i$ − результуюча активних сил, серед яких можуть бути як внутрішні, так і зовнішні сили, $\vec{R}_i$ − сили реакції. Усі ці сили діють на *і*-ту матеріальну точку.

Потім студентам пояснюється виділення сил реакції у вигляді окремого додатка у системі рівнянь (12). По-перше, на відміну від заданих сил сили реакції в'язей $\vec{R}_i$, як правило, заздалегідь невідомі. Їх величину та напрямок можна у загальному випадку встановити тільки після визначення прискорення частинок, тобто коли буде відомий рух невільних точок. По-друге, сили реакції в'язей за величиною та напрямком у суттєвих рисах визначаються заданими силами, вони виникають тільки при русі та при дії заданих сил. Якщо ж заданих сил немає і точка знаходиться у стані спокою, то накладання в'язей не може надати їй прискорення. Таким чином, сили реакції в'язей є дійсно пасивними силами; вони діють при наявності руху або при наявності заданих сил, у протилежному випадку їх просто не існує.

Підсумовуючи вивчення теми, слід звернути увагу на те, що в'язі вносять у розв'язання основної задачі динаміки невільних систем *дві проблеми:*

Проблема 1. Сили реакції $\vec{R}_i$ у рівняннях руху частинок (12) заздалегідь невідомі. Їх можна визначити якраз із диференціальних рівнянь руху, які й підлягають інтегруванню, що неможливо при невідомих силах реакції. Ця проблема розв'язується введенням механічної абстракції – ідеальних в'язей і переведенням складових сил реакції реальних в'язей у групу заданих (активних) сил.

Проблема 2. Не всі 3*N* координат є незалежними, тому що вони зв'язані рівняннями в'язей (9). Незалежними, як уже відзначалось, є 3*N*-*k*=*l* координат, але у рівняння руху (12) входять усі 3*N* координат, із яких *k* координат не несуть ніякої самостійної інформації про рух системи, а визначення таких «надлишкових» координат, як правило, пов'язане з математичними труднощами та невизначеністю.

Розв'язання цих двох проблем вимагає введення додаткових фізичних понять, міркувань та постулатів (принципів), які відображають характер матеріальної реалізації в'язей та нададуть можливість одержати систему рівнянь, які дозволяють розв'язати основну задачу невільних та вільних систем.

Висновки. У статті наведено деякі методичні аспекти вивчення теми ««Основна задача динаміки зв'язаних систем», що є складовою курсу «Класична механіка», який вивчається на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти. Як показує досвід викладання класичної механіки, розглянута методика дозволяє сформувати у студентів достатньо глибоке й стійке розуміння поняття в'язей та за допомогою понять про в'язі та їх реакції дає змогу сформулювати основну задачу механіки невільної системи. Подальші дослідження будуть спрямовані на методику навчання основ аналітичної механіки у педагогічному університеті.

Список використаної літератури

1. Мороз І. О. Фундаменталізація навчальних курсів у педагогічних університетах. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 3: Фізика і математика у вищій і середній школі*, 2012. Вип. 10. С. 78−85.
2. Бондаренко А. А., Дубінін О. О., Переяславцев О. М. Теоретична механіка: підручник: *У 2 ч. Ч. 2: Динаміка*. Київ: Знання, 2004. 590 с.
3. Булгаков В. М., Яременко В. В., Черниш О. М., Березовий М. Г. Теоретична механіка: підручник. Київ: ЦУЛ, 2017. 640 с.
4. Іванов Б. О., Максюта М. В. Конспект лекцій із теоретичної механіки: навчальний посібник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2012. 207 с.
5. Єжов С. М., Макарець М. В., Романенко О. В. Класична механіка. Київ: Фізичний факультет, 2007. 399 с.
6. Литвинов О. І., Михайлович Я. М., Бойко А. В., Березовий М. Г. Теоретична механіка Ч. ІІ. Динаміка. Основи аналітичної механіки. Київ: Агроосвіта, 2013. 576 с.
7. Ланцош К. Вариационные принципы механики / ред. Л. С. Полак; пер. с англ. В. Ф. Гантмахер. Москва: Мир, 1965. 408 с.

METHODICAL ASPECTS OF TEACHING THE TOPIC «THE MAIN PROBLEM OF DYNAMICS OF RELATED SYSTEMS»

Zavrazhna Olena
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Department of Physics and Methods of Physics Education
A. S. Makarenko Sumy State Pedagogical University

Moroz Ivan
Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of Department of Physics and Methods of Physics Education
A. S. Makarenko Sumy State Pedagogical University

Introduction. *While training physics and mathematics specialists, and physics teachers in particular, the main attention should be paid to the general principles, which in a compact form contain not only all known experimental and theoretical positions, but also allow to predict new discoveries. These principles include integral variational principles which were first formulated in mechanics. While training physics teachers, the above mentioned principles are studied in the first section of theoretical physics course – «Classical mechanics». Unlike the general course of «Mechanics», where students only deepen their school knowledge, while studying classical mechanics, at the initial stage in the process of formulating the main mechanics task of the related systems, they encounter many generalized and abstract concepts, which formation puts a lot of methodological problems upon the teachers that should be solved.*

The purpose of the article is *to reveal methodical aspects of teaching «The main problem of dynamics of related systems»*

Methods. *The following methods were used for research: systematic scientific and methodological analysis of textbooks and manuals, monographs, manuscripts, articles and materials of methodical conferences on the research problem; observation of the educational process; analysis of student learning results according to the research problem; synthesis, comparison and generalization of theoretical positions, discovered in the scientific and educational literature; generalization of own pedagogical experience and colleagues' experience from other higher educational establishments.*

Results. *One of the possible substantiation variants of the main mechanics task of related*

systems is offered, which the authors use at the first lectures on classical mechanics.

Conclusion. *The considered method allows students to form sufficiently deep and stable understanding of the notion of relations and with the help of the relation notions and their reactions, allows us to formulate the main task of the mechanics of the non-free system. Further research will be aimed at highlighting the methodological aspects of teaching analytical mechanics at the pedagogical university.*

Keywords: *future physics teachers, classical mechanics, relations, forces, reactions, mechanical system.*

References

1. Moroz, I. O. (2012) Fundamentalizacija navchaljnykh kursiv u pedaghoghichnykh universytetakh [Fundamentalization of training courses at pedagogical universities]. *Naukovyj chasopys Nacionaljnogho pedaghoghichnogho universytetu imeni M. P. Draghomanova.* Serija 3: Fizyka i matematyka u vyshhij i serednij shkoli. Vyp. 10. S. 78–85 [in Ukrainian].
2. Bondarenko, A. A., Dubinin, O. O., Perejaslavcev, O. M. (2004) Teoretychna mekhanika: Pidruchnyk: U 2 ch. Ch. 2: Dynamika [Theoretical mechanics: Textbook: In 2 parts Part 2: Dynamics]. Kyjiv: Znannja, 590 s. [in Ukrainian].
3. Bulghakov, V. M., Jaremenko, V. V., Chernysh, O. M., Berezovyj, M. Gh. Teoretychna mekhanika:pidruchnyk [Theoretical mechanics: textbook]. Kyjiv: CUL, 640 s. [in Ukrainian].
4. Ivanov, B. O., Maksjuta, M. V. (2012) Konspekt lekcij iz teoretychnoji mekhaniky: navchaljnyj posibnyk [Synopsis of lectures on theoretical mechanics: tutorial]. Kyjiv: Vydavnycho-polighrafichnyj centr «Kyjivsjkyj universytet», 207 s. [in Ukrainian].
5. Jezhov, S. M., Makarecj, M. V., Romanenko, O. V. (2007) Klasychna mekhanika. Kyjiv: Fizychnyj fakuljtet, 399 s. [in Ukrainian].
6. Lytvynov, O. I., Mykhajlovych, Ja. M., Bojko, A. V. & Berezovyj, M. Gh. (2013) Teoretychna mekhanika Ch. II. Dynamika [Theoretical mechanics Ch. II. Dynamics. Fundamentals of Analytical Mechanics]. Osnovy analitychnoji mekhaniky / Kyjiv: Aghroosvita. 576 s. [in Ukrainian].
7. Lancosh, K. (1965) Variacionnye principy mehaniki [Variational principles of mechanics] (V. F. Ghantmakher Trans.). Moskva: Mir. 408 s. [in Russian].

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ «ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА ДИНАМИКИ СВЯЗАННЫХ СИСТЕМ»

Завражная Елена Михайловна
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики и методики обучения физике
Сумской государственный педагогический университет имени А. С. Макаренко

Мороз Иван Алексеевич
доктор педагогических наук, профессор кафедры физики и методики обучения физике
Сумской государственный педагогический университет имени А. С. Макаренко

Статья посвящена освещению методических аспектов обучения теме «Основная задача динамики связанных систем». В отличие от общего курса «Механика», при изучении теоретического курса «Классическая механика» уже на начальном этапе, при формулировке основной задачи механики систем со связями студенты сталкиваются со многими обобщенными и абстрактными понятиями, формирование которых ставит перед преподавателями множество методических проблем, которые нужно решить. Авторами статьи обобщены результаты анализа учебных пособий и собственного опыта, и на основе этого рассмотрен один из возможных способов обоснования основной задачи механики связанных систем. Согласно этому способу предлагается сначала введение таких понятий: механические системы, механические связи, классификация связей, аксиома об освобождении от связей. Такой подход позволяет сформировать у студентов достаточно глубокое и устойчивое понимание этих понятий и существенно облегчает формулировку основной задачи механики несвободной системы.

Ключевые слова: *учителя физики, классическая механика, связи, силы, реакции, механическая система.*

Отримано редакцією 07.06.2019 р.