

МІНІСТЭРСТВА АДУКАЦЫІ РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ  
УСТАНОВА АДУКАЦЫІ  
«БАРАНАВІЦКІ ДЗЯРЖАЎНЫ УНІВЕРСІТЭТ»

**С. І. РУСАН**

**СТРУКТУРА ПЛОСКІХ СТАТЫЧНА  
ВЫЗНАЧАЛЬНЫХ МЕХАНІЧНЫХ  
СІСТЭМ**

**Вучэбна-метадычны дапаможнік**

**Баранавічы  
РВА БарДУ  
2007**

Р э ц е н з е н т ы:

*М. І. Ланцѳеў*, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт;  
*М. В. Чычкан*, кандыдат тэхнічных навук, дацэнт

**P88**      **Русан, С. І.**  
**Структура плоскіх статычна вызначальных механічных сістэм [Тэкст] : вучэб.-метадыч. дапам.** / С. І. Русан. — Баранавічы : РВА БарДУ, 2007. — 70 [1] с. — 120 экз. — ISBN 978-985-498-088-1.

Метадычны дапаможнік прысвечаны аналізу і сінтэзу плоскіх складаных статычна вызначальных механічных сістэм. Асноўная мэта дапаможніка — падрыхтаваць студэнтаў да больш глыбокага засваення першых разделаў курса тэарэтычнай механікі і стварыць перадумовы для фарміравання ў іх доўгатэрміновых ведаў. Выданне змяшчае чатыры заданні з прыкладамі іх выканання і можа выкарыстоўвацца як на практычных занятках, так і для правядзення калектыва па статыцы. Метадычны дапаможнік распрацаваны згодна з тыпавай праграмай для вышэйшых устаноў.

**УДК**  
**ББК**

## Уводзіны

Тэарэтычная механіка, як вядома, належыць да вузаўскіх дысцыплін агульнанавуковага цыклу і служыць падмуркам для пабудовы шэрагу іншых курсаў. Таму ўзровень інжынернай падрыхтоўкі спецыялістаў найперш залежыць ад якасці і глыбіні засваення імі асноўных палажэнняў курса тэарэтычнай механікі. Між тым, абстрактная форма выкладання дысцыпліны і непадрыхтаванасць студэнтаў малодшых курсаў да яе ўспрымання ставяць дысцыпліну ў шэраг самых цяжкіх у ВНУ. Строгая і абстрактная форма зместу курса аб'ектыўна абумоўлена яго агульнанавуковай накіраванасцю. Усё ж лёгка заўважыць адну яго непазбягальнасць — у якасці заданняў і прыкладаў шырока выкарыстоўваюцца схемы механічных сістэм і ўжываюцца тэхнічныя тэрміны без папярэдняга азнаямлення з імі студэнтаў. Не шмат першакурснікаў са свайго жыццёвага досведу ведаюць, што такое многапалётная бэлька, шарнір, рама, шатун, куліса, рэдуктар і г. д. Яшчэ больш незразумелымі для іх з'яўляюцца складаныя механічныя сістэмы. Частковая кампенсцыя ў курсе тэарэтычнай механікі адзначанага недахопу шляхам увядзення ў навучальны працэс гэтай метадычнай распрацоўкі, на нашу думку, становіцца паўплывае на засваенне першых частак дысцыпліны: статыкі і кінематыкі. А гэта, у сваю чаргу, значна палегчыць успрыманне такіх курсаў, як механіка матэрыялаў, тэорыя механізмаў і машын і інш.

Змест вучэбна-метадычнага дапаможніка прысвечаны сінтэзу складаных статычна вызначальных механічных сістэм. Статычная вызначальнасць сістэм тут даследуецца

шляхам вывучэння іх структуры. Такі падыход мае безумоўныя перавагі перад фармальным метадам, заснаваным на даследаванні гэтай жа ўласцівасці сістэм з дапамогай формул. У працэсе вывучэння асноў сінтэзу складаных механічных сістэм і самастойнага выканання змешчаных тут заданняў студэнтаў чакае першае азнаямленне з прынцыпамі абстрактнага канструявання інжынерных аб'ектаў.

Пры складанні дадзенага вучэбна-метадычнага дапаможніка былі выкарыстаны матэрыялы наступных выданняў:

Яблонскі, А. А. Зборнік заданняў для курсавых работ па тэарэтычнай механіцы / А. А. Яблонскі. — М. : Выш. шк., 1972.

Русан, С. І. Раўнавага плоскіх механічных сістэм / С. І. Русан. — Баранавічы : Барду, 2005 — 41с.

Метадычныя парады, выкладзеныя ў дапаможніку не маюць аналага ў метадычнай літаратуры па тэарэтычнай механіцы.

# 1 МАТЭРЫЯЛЬНЫЯ АБ'ЕКТЫ, ЦВЁРДЫЯ ЦЕЛЫ, МЕХАЊІЧНЫЯ СІСТЭМЫ. КЛАСІФІКАЦЫЯ МЕХАЊІЧНЫХ СІСТЭМ

Аб'екты сучаснай тэхнікі даволі разнастайныя: аўтамабіль, самалёт, камбайн, снегачыст, металаапрацоўчы станок, гадзіннік... Не хапіла б жыцця аднаго даследчыка, каб вывучыць толькі геаметрычныя вобразы машын і механізмаў, створаных інжынерамі. Аднак пры ўсёй разнастайнасці аб'екты тэхнікі маюць шмат агульных рыс і уласцівасцей, што значна спрашчае іх вывучэнне. Як самі складаныя аб'екты, так і іх часткі можна класіфікаваць па пэўных прыкметах. Для апісання такіх прыкмет увадзяцца абагульняючыя тэрміны.

У тэарэтычнай механіцы вывучаюцца толькі агульныя механічныя ўласцівасці згаданых аб'ектаў. Каб скараціць іх апісанне, усе аб'екты тэхнікі ў далейшым пры вывучэнні іх механічных уласцівасцей будзем называць *механічнымі сістэмамі*. У рэальных складаных аб'ектах тэхнікі яны аб'ядноўваюцца з электрычнымі, гідраўлічнымі і іншымі сістэмамі. Па геаметрычных прыкметах механічныя сістэмы можна падзяліць на *лінейныя*, *плоскія* і *прасторавыя*. Тут будуць разглядацца толькі плоскія сістэмы. Іх знешняя прыкмета: усе часткі, якія ўтвараюць плоскую механічную сістэму, маюць агульную плоскасць сіметрыі, да якой прыводзяцца і сілы, што дзейнічаюць у сістэме. Плоскія сістэмы, у сваю чаргу, могуць быць *нерухомымі* (ураўнаважанымі) і *рухомымі* (механізмамі). Далей будуць вывучацца ўраўнаважаныя сістэмы, іншымі словамі, пытанні статыкі механічных сістэм.

Назвы частак аб'ектаў тэхнікі таксама вельмі разнастайныя: кола, вал, крывашып, штанга, шатун, куліса і г. д. Агульная для іх назва — *цела*. У тэарэтычнай механіцы ўсе целы лічацца абсалютна цвёрдымі. Дэфармацыя, уласцівая ўсім рэальным целам, ігнаруецца. Такім чынам, механічную сістэму можна разглядаць як узаемазвязаную сукупнасць цвёрдых цел. Нярэдка ўжываецца і тэрмін

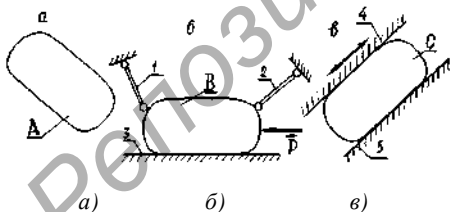
«матэрыяльны аб'ект», пад якім разумеюць матэрыяльны пункт, сістэму матэрыяльных пунктаў, цвёрдае цела або сістэму цвёрдых цел. У наступных разважаннях паняцці «механічная сістэма», «матэрыяльны аб'ект», «сістэма цвёрдых цел» будзем лічыць эквівалентнымі.

**П**

1. Што сабою ўяўляе механічная сістэма?
2. Як можна падзяліць механічныя сістэмы па геаметрычных прыкметах?
3. Прывядзіце прыклады назваў цел, якія шырока прымяняюцца ў тэхніцы.
4. Назавіце паняцці, эквівалентныя механічнай сістэме.

## 2 СВАБОДНЫЯ І НЕСВАБОДНЫЯ МАТЭРЫЯЛЬНЫЯ АБ'ЕКТЫ. СУВЯЗІ І РЭАКЦЫІ СУВЯЗЕЙ

Матэрыяльны аб'ект называецца **с в а б о д н ы м**, калі яго рух не абмежаваны другімі аб'ектамі (целамі). Калі ж рух матэрыяльнага аб'екта часткова або цалкам абмежаваны, то яго называюць **н е с в а б о д н ы м**. На рысунку 2.1 цела *A* — свабоднае, а целы *B* і *C* — несвабодныя і пры гэтым рух цела *C* абмежаваны часткова. Магчымыя напрамкі яго руху паказаны на рысунку стрэлкамі.

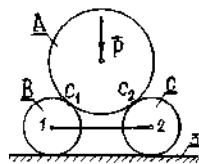


Рысунк 2.1

Целы, што прылягаюць або прымацаваны да матэрыяльнага аб'екта і абмяжоўваюць яго перамяшчэнні, называюцца сувязямі, накладзенымі на аб'ект. На цела *B* (рыс. 2.1) накладзены тры сувязі: два стрыжні 1, 2 і паверхня 3. Рухомасць цела *C* абмежавана дзвюма сувязямі — паверхнямі 4, 5. Тут паверхні 3, 4, 5 уяўляюць сабою абсалютна жорсткія нерухомыя асновы. Да такіх асноў прымацаваны і стрыжні 1, 2. На рысунках жорсткія асновы паказваюць прамымі або крывымі падштрыханымі лініямі. У рэальнасці такія асновы ўяўляюць сабою жа-

лезабетонныя падлогі, падмуркі, замураваныя рэйкі, масіўныя сцены, бетонныя столі і г. д.

Сукупнасць сувязей, накладзеных на матэрыяльны аб'ект, называецца сістэмай сувязей. Сістэмы сувязей, накладзеных на целы  $B$  і  $C$  (рыс. 2.1) складаюцца адпаведна з трох і дзвюх сувязей. Пры вывучэнні састаўных механічных сістэм



Рысунк 2.2

будзем адрозніваць *знешнія* і *ўнутраныя* сувязі. На рысунку 2.2 паказана складаная сістэма з трох цыліндрычных цел  $A, B, C$ . Знешняй сувяззю для сістэмы служыць жорсткая аснова  $3$  (далей будзем называць яе ідэальна гладкай паверхняй). Унутранымі сувязямі з'яўляецца трос 1-2, які змацоўвае паміж сабою цэнтры цел  $B, C$ , і паверхні цел у пунктах  $C_1, C_2$ , дзе целы судакранаюцца. Варта звярнуць увагу на ўмоўную розніцу паміж знешнімі і ўнутранымі сувязямі. Калі разглядаць не ўсю сістэму, а напрыклад, толькі цела  $A$ , тады сувязі ў пунктах  $C_1, C_2$  стануць знешнімі; імі будуць паверхні цел  $B$  і  $C$ .

Калі да цел  $B$  і  $A$  (гл. рыс. 2.1, 2.2) прыкладзі сілы  $\vec{P}$ , то іх дзеянне будзе перадавацца праз гэтыя целы на сувязі. У нашых прыкладах стрыжань 1 будзе сціскацца, трос 1-2 — расцягвацца, і г. д. Тады ў адпаведнасці з трэцім законам Ньютана з боку сувязей узнікнуць роўныя і процілеглыя накіраваныя сілы, прыкладзеныя да цел  $B$  і  $A$ . Прыкладзем яшчэ больш просты прыклад. Калі пакласці на падлогу

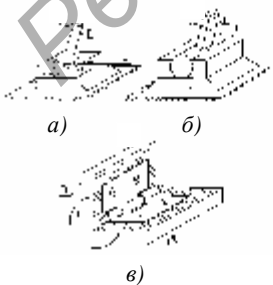
цэглу вагою  $P$ , то яна будзе ціснуць на падлогу з сілай  $\vec{P}$ . Падлога, якая ў дадзеным прыкладзе з'яўляецца сувяззю для цэглы, будзе супрацьдзейнічаць з такой жа сілай, накіраванай уверх. У выніку сілы ўраўнаважваюцца і цэгла не можа перамяшчацца ўніз. Сілы супрацьдзейня, якія ўзнікаюць у адпаведнасці з трэцім законам Ньютана і перадаюцца ад сувязей на матэрыяльны аб'ект, называюцца *рэакцыямі сувязей*. Як бачым, сувязі «рэагуюць» на ўздзеянне з боку матэрыяльнага аб'екта, на які яны накладзены.

У адрозненне ад хімічнай (біялагічнай рэакцыі) ў статьицы мы маем справу з механічнай рэакцыяй. Тут сінонімам тэрміну «рэакцыя» могуць быць паняцці «процідзеянне», «супраціўленне».

1. Якія матэрыяльныя аб'екты называюць свабоднымі і несвабоднымі? Прывядзіце прыклады свабодных і несвабодных матэрыяльных аб'ектаў.
2. Што такое механічная сувязь і сістэма сувязей?
3. Што ўяўляюць сабою жорсткія асновы? Прывядзіце прыклады жорсткіх асноў.
4. Якія бываюць сувязі? Прывядзіце прыклады.
5. Што сабою ўяўляе рэакцыя механічнай сувязі?
6. Якія існуюць сінонімы тэрміну «рэакцыя»?

### 3 НЕКАТОРЫЯ ВІДЫ СУВЯЗЕЙ І ІХ РЭАКЦЫІ. ВАЛЕНТНАСЦЬ СУВЯЗЕЙ

Каб зразумець сутнасць разнастайных механічных сувязей, неабходна спачатку пазнаёміцца з шарнірамі. Шарнір — устройства, з дапамогай якога адно цела рухома злучаецца (змацоўваецца) з другім цэлам альбо з нерухомай асновай. У тэхніцы выкарыстоўваюцца *сферычныя і цыліндрычныя* шарніры. На рысунку 3.1, *а* стрыжань  $D$  прымацаваны да нерухомай асновы з дапамогай сферычнага, а на рысунку 3.1, *б* — з дапамогай цыліндрычнага шарніра. Прынцыповая розніца паміж імі заключаецца ў тым, што першы дапускае паварот стрыжня вакол любой з трох восей  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$ , а другі — толькі вакол  $Oz$ . Тут у плоскіх механічных сістэмах выкарыстоўваюцца толькі цыліндрычныя шарніры. На плоскіх рысунках цыліндр паказваюць кружком. Геаметрычная вось цыліндра  $Oz$  праектуецца ў пункт — цэнтр кружка. На рысунках гэты цэнтр не паказваюць. Тэхнічным прыкладам цыліндрычных шарніраў могуць служыць разнастайныя тыпы завесаў: дзвярных, аконных і г. д. На рысунку 3.1, *в* завес выкарыстаны для рухомага злучэння цел  $D_1$ ,  $D_2$ .



Рысунк 3.1

Спынімся больш падрабязна на сувязях, якія сустракаюцца ў плоскіх механічных сістэмах. Згодна вызначэнню, механічная сувязь уяўляе сабой цэла, якое абмяжоўвае перамяшчэнні вывучаемага матэрыяльнага аб'екта. Сувязі адрозніваюцца паміж сабою абмежавальнымі ўласцівасцямі. Кожная з іх можа абмяжоўваць

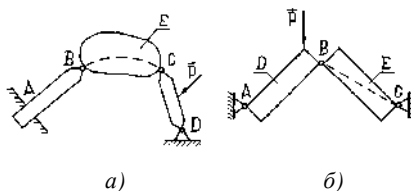
перамяшчэнні ў адным або ў двух напрамках і пры гэтым пера-  
шкаджаць паступальнаму ці вярчальнаму перамяшчэнню матэрыяль-  
нага аб'екта. На рысунку 2.1 (гл. с. 6) плоскасці 4, 5 выключаюць  
перамяшчэнне цела  $S$  па напрамку, перпендыкулярнаму да іх і паварот цела  
ў плоскасці рысунка. Гарызантальная плоскасць 3 (рыс. 2.2, гл. с. 7)  
перашкаджае перамяшчэнню механічнай сістэмы ўніз па вертыкалі, але дапус-  
кае яе гарызантальны рух. Колькасць абмежаванняў, якія накладвае  
сувязь на матэрыяльны аб'ект, называецца в а л е н т н а с ц ю с у в я з і.

Найбольш распаўсюджаныя віды сувязей змешчаны ў табліцы  
3.1 (гл. с. 10), дзе літарамі МА абазначаны матэрыяльныя аб'екты, а  
літарай  $C$  — сувязі. Адна і тая ж сувязь можа мець рознае тэхнічнае  
выкананне і розныя абазначэнні на рысунках.

Напрыклад, бязважкі стрыжань, пазначаны нумарам 4 (табл. 3),  
можа быць прамым ( $C_1$ ), ломаным ( $C_2$ ), крывым ( $C_3$ ). Кожнае  
ненагружанае цела ў складзе механічнай сістэмы можна мадэліра-  
ваць стрыжнем любой формы. Так, на рысунку 3.2 целы  $E$  можна  
замяніць стрыжнямі  $BC$  (паказаны пункцірам). Пры гэтым у сістэме двух  
цел  $AB$  і  $CD$  стрыжань уяўляе ўнутраную сувязь, а для цела  $D$  (рыс.

3.2, б) — знешнюю. Калі на апошнім рысунку сілу  $\vec{P}$  перанесці на  
правае цела, то сувяззю стане левае цела  $D$ . Варта заўважыць, што  
і нагружаныя целы таксама выконваюць функцыі сувязей, гэта зна-  
чыць абмяжоўваюць рух сумежных з імі цел, але не маюць харак-  
тэрных для сувязей уласцівасцей. Напрамак рэакцыі стрыжня  $CD$   
у адрозненне ад бязважкага стрыжня (рыс. 3.2, а) не будзе вызначацца  
прамой  $CD$ , ён залежыць ад нагрузкі.

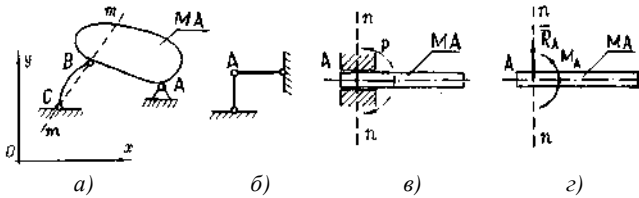
Розныя геаметрычныя выявы выкарыстоўваюцца для нерухо-  
мых і рухомах цыліндрычных шарніраў (у табл. 3.1 паказаны  
адпаведна два і тры іх варыянты). Пры аналізе сувязей, накладзеных  
на МА, найперш неабходна вызначыць іх лінію ўзаемадзеяння  
з матэрыяльным аб'ектам —  
напрамак, у якім сувязь абмяжоўвае  
(выключае) яго перамяшчэнне.  
Гэты напрамак можа быць  
лінейным, калі сувязь абмяжоўвае  
паступальнае перамяшчэнне  
(набліжэнне або аддаленне ад



Рысунак 3.2

Таблиця 3.1

Нумар сувязі	Виявленне сувязі (схема)	Назва сувязі (С)	Валент- насць сувязі ( $\nu$ )	Заўвагі
1		Гладкая паверхня	1	Рэакцыя перпендыкулярна да паверхні сувязі $(R_A \perp A_\tau)$
2		Гладкая паверхня са зломам (па лініі AA)	1	Рэакцыя перпендыкулярна да паверхні матэрыяльнага аб'екта $(R_A \perp A_\tau)$
3		Бязважкая ніць (трос, канат, вяроўка і інш.)	1	Рэакцыя накіравана па ніці ад MA
4		Ненагружаны бязважкі стрыжань з шарнірамі на канцах	1	Рэакцыя накіравана па прамой, якая праходзіць праз шарніры стрыжня
5		Ідэальны нерухомы цыліндрычны шарнір	2	Рэакцыя праходзіць праз цэнтр шарніра перпендыкулярна да яго восі
6		Ідэальны рухомы цыліндрычны шарнір	1	Рэакцыя перпендыкулярна да паверхні, на якой замацаваны шарнір
7		Слізгаючая замацоўка	2	Рэакцыя перпендыкулярна да плоскасці слізгання сувязі
8		Падвойная слізгаючая замацоўка.	1	Рэактыўная пара M дзейнічае ў плоскасці напружэння MA
9		Жорсткая замацоўка	3	Сячэнне A матэрыяльнага аб'екта нерухома. $R_A$ , $M_A$ дзейнічаюць у плоскасці напружэння $R_A = X_A + Y_A$



Рисунак 3. 3

некаторага пункта) і паваротным, калі яна выключае паварот матэрыяльнага аб'екта. Далей на рысунках шарніры і пункты матэрыяльных аб'ектаў, у якіх прымацаваны шарніры, будзем абазначаць аднолькавымі літарамі. На рысунку 3.3, *a* ў пункце *B* на матэрыяльны аб'ект накладзена сувязь *BC* — бязважкі абсалютна цвёрды стрыжань. Лінія яе ўзаемадзеяння з матэрыяльным аб'ектам вызначаецца прамой *m-m*, якая праходзіць праз шарніры *B*, *C*. Паколькі стрыжань і матэрыяльны аб'ект — абсалютна цвёрдыя цэлы, то пункт *B* і ўсе пункты матэрыяльнага аб'екта, якія ляжаць на лініі *m-m* не могуць перамяшчацца ўздоўж гэтай лініі, але іх рух у перпендыкулярным да *m-m* напрамку неабмежаваны. Заўважым, што напрамак узаемадзеяння стрыжня з матэрыяльным аб'ектам не залежыць ад знешніх сіл, прыкладзеных да матэрыяльнага аб'екта; стрыжань *BC* абмяжоўвае рух аб'екта толькі ў адным напрамку. Таму яго адносяць да аднавалентнай сувязі. Такія сувязі інакш называюць *простымі*. Да іх належаць і сувязі 3, 6, 8; апошняя (8) — з паваротным напрамакам узаемадзеяння змешчаныя ў табліцы 3.1, у сувязі 6 гэты напрамак перпендыкулярны да жорсткай асновы (апорнай плоскасці). Ён таксама, як і ў сувязі 4, не залежыць ад характару нагрукі на матэрыяльны аб'ект.

Разгледзім сувязь *A* — ідэальны нерухомы цыліндрычны шарнір (гл. рыс. 3.3, *a*). Дзякуючы ёй, пункт *A* цэла застаецца нерухомым, а само цэла можа свабодна паварочвацца ў плоскасці рысунка вакол восі цылінра (гэта значыць вакол цэнтра кружка). Лінія ўзаемадзеяння нерухомага цыліндра з цэлам *залежыць ад нагрукі на цэла* і вызначаецца ў працэсе рашэння задачы. Шарнір *A* можа ўтрымлівацца ў нерухомым стане двума стрыжнямі. Для зручнасці размясцім іх паралельна восям каардынат *Ox*, *Oy*, як паказана на рысунку 3.3, *b*.

Тады напрамкі ўзаемадзеяння сувязі з матэрыяльным аб'ектам будучы вызначацца гэтымі стрыжнямі. Значыць, валентнасць нерухомага шарніра роўна двум.

Для двухвалентнай *слізаючай замацоўкі* 7 уласцівы лінейны  $n-n$ , так і паваротны  $p$  напрамкі ўзаемадзеяння (рыс. 3.3, в). Дзве паралельныя плоскасці слізгання, што прылягаюць да матэрыяльнага аб'екта (гарызантальнага стрыжня), перашкаджаюць як яго паступальнаму перамяшчэнню па напрамку  $n-n$ , так і павароту вакол цэнтра  $A$ . Стрыжань можа перамяшчацца толькі паралельна да пласкасцей слізгання — гарызантальна. Калі ў слізаючай замацоўцы выключыць і гэтае адзінае магчымае перамяшчэнне, то атрымаем трохвалентную сувязь — *жорсткую замацоўку* 9. Як відаць з табліцы плоскіх сувязей 3.1 (гл. с. 10), у жорсткай замацоўкі самая высокая валентнасць.

Разглядаючы розныя віды сувязей, можна заўважыць, што колькасць напрамкаў узаемадзеяння, а значыць і саміх узаемадзеянняў сувязі з матэрыяльным аб'ектам, роўна яе валентнасці. А паколькі гэтыя ўзаемадзеянні вымяраюцца механічнымі сіламі, (рэакцыямі сувязі), то прыходзім да высновы: колькасць рэакцый, якія адпавядаюць любой сувязі, роўна яе валентнасці. Пры гэтым лінейным напрамкам узаемадзеяння адпавядаюць *рэактыўныя сілы*, (адзінка вымярэння — ньютан, Н), а паваротным — *рэактыўныя пары* (ньютан-метрах, Н · м). Агульныя назвы для тых і другіх — *рэакцыі сувязей*.

П

1. Што ўяўляе сабою шарнір?
2. Якія віды шарніраў выкарыстоўваюцца ў тэхніцы і чым яны адрозніваюцца?
3. Якія віды шарніраў выкарыстоўваюцца ў плоскіх механічных сістэмах?
4. Прывядзіце прыклады выкарыстання цыліндрычных шарніраў у тэхніцы.
5. Што такое валентнасць сувязі?
6. Чым прынцыпова адрозніваюцца стрыжні-сувязі ад такіх жа па форме цел?
7. Як накіравана рэакцыя гладкай са зломом паверхні (вострыё, клін)?
8. Якія геаметрычныя выявы выкарыстоўваюцца, каб паказаць на схеме рухомы ці нерухомы цыліндрычны шарнір?
9. Чым прынцыпова адрозніваюцца сувязі: прамы стрыжань і ніць?
10. Што такое лінія ўзаемадзеяння стрыжня з МА?
11. Ці залежыць напрамак лініі ўзаемадзеяння аднавалентнай сувязі ад знешніх сіл, прыкладзеных да МА?

12. Якія сувязі называюць простымі? Привядзіце прыклады простых сувязей.
13. Ці залежыць ад нагрукі лінія ўзаемадзеяння з МА ідэальнага нерухомага цыліндрычнага шарніра?
14. Якія абмежаванні на рух матэрыяльнага аб'екта накладваюць слізгаючая і жорсткая замацоўкі?

#### 4 АКСІЁМА АБ СУВЯЗЯХ. ПЕРАЎТВАРЭННЕ СУВЯЗЕЙ. ПАНЯЦЦЕ АБ СВАБОДНЫХ СУВЯЗЯХ

Каб пераўтварыць несвабодны матэрыяльны аб'ект у свабодны, у ста-тыцы выкарыстоўваецца наступная аксіёма аб сувязях: *не парушаючы стану раўнавагі матэрыяльнага аб'екта, яго можна вызваліць ад накладзеных сувязей*, замяніўшы іх рэакцыямі сувязей. Прыменім гэту аксіёму да стрыжня (гл. рыс. 3.3, в); атрымаем свабодны матэрыяльны аб'ект (рыс. 3.3, з). Рэакцыі, адпавядаючыя кожнаму віду сувязі, прыведзены ў табліцы 3.1, дзе рэактыўныя сілы і рэактыўныя пары абзначаны літарамі  $R$  і  $M$  з індэксамі.

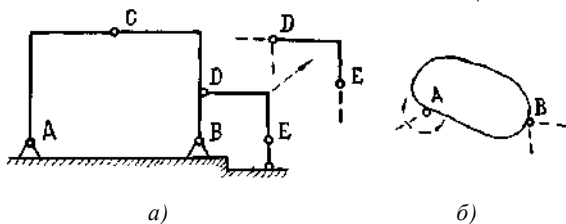
Аксіёма аб сувязях, сфармуляваная ў больш агульным выглядзе [2], дазваляе паніжаць валентнасць сістэмы сувязей.

Вышэй (гл. рыс. 3.3, б) было паказана, што двухвалентную сувязь (ідэальны нерухомы шарнір) можна замяніць дзвюма простымі сувязямі — стрыжнямі. Такое пераўтварэнне дапускае і любая іншая непрыстая сувязь. На рыс. 4.1 прадстаўлена падобная трансфармацыя жорсткай замацоўкі: спачатку ў дзве — двухвалентную  $A$  і простую  $A_1 A_1$  (рыс. 4.1, б), а затым — у тры простыя сувязі (рыс. 4.1, в) (тут  $d$  — пагарджальна малая адлегласць). Дзве паралельныя сувязі (гл. рыс. 4.1, в) утрымліваюць стрыжань  $AB$  ад паварота і вертыкальнага перамяшчэння.

На падставе аксіёмы аб сувязях стрыжні заменены рэакцыямі  $X_A$ ,  $Y'_A$ ,  $Y''_A$  (рыс. 4.1, з). Рэакцыю  $Y''_A$  раскладваем на дзве:

$$\overset{\cdot}{Y}''_A = \overset{\cdot}{Y}'_A - \overset{\cdot}{Y}'_A \quad (\text{рыс. 4.1, д}).$$

Роўныя па велічыні сілы  $\overset{\cdot}{Y}'_A$  і  $-\overset{\cdot}{Y}'_A$  утвараюць рэактыўную пару, напрамак якой зручна паказваць кальцавой стрэлкай. Момент гэтай



Рисунак 4.2

пары (рис. 4.1, ж) абазначаны літарай  $M_A$ , а сума  $\dot{X}_A + \dot{Y}_A$  роўна  $\dot{R}_A$ . Такім чынам, канчатковы рэзультат вызвалення стрыжня  $AB$  ад сувязей супадае з тым, што паказаны ў табліцы 3.1 (гл. с. 10), для сувязі № 9.

Далей у працэсе аналізу і сінтэзу механічных сістэм будзем ужываць тэрмін «свабодныя сувязі». Так назавем нявыкарыстаныя, запланаваныя ці яўныя сувязі, якімі забяспечваецца цела для ўключэння ў ствараемую механічную сістэму. Калі мы аналізуем існуючую сістэму і яўна выдзяляем з яе нейкую частку, то ранейшыя сувязі гэтай часткі становяцца свабоднымі. На рысунку 4.2, а са стрыжнявой сістэмы вылучаны стрыжань  $DE$ . Сувязі ў пунктах  $D$  і  $E$  сталі свабоднымі. Далей будзем паказваць іх пункцірнымі лініямі, а месцы ўсталявання сувязей — кружкамі. Колькасць пункцірных ліній роўна валентнасці сувязі. Сувязь, прызначаную для абмежавання павароту, будзем паказваць пункцірным адрэзкам дугі. На рысунку 4.2, б свабодныя сувязі ў пунктах  $A$  і  $B$  уяўляюць адпаведна слізгаючую замацоўку і цыліндрычны шарнір. Як і звычайныя, свабодныя сувязі могуць быць знешнімі і ўнутранымі. Матэрыяльны аб'ект, абсталяваны толькі свабоднымі сувязямі, лічыцца свабодным.

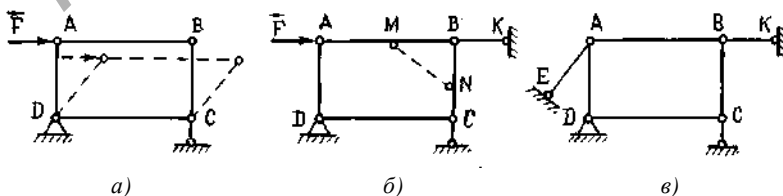
**П** |||

1. Што сцвярджае аксіёма аб сувязях?
2. Што ўяўляюць сабою свабодныя сувязі? Як паказваюць іх на рысунках?

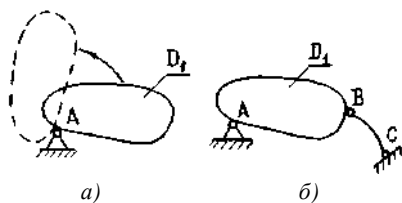
## 5 СТАТЫЧНА ВYZНАЧАЛЬНЫЯ І СТАТЫЧНА НЕВYZНАЧАЛЬНЫЯ СІСТЭМЫ

Калі прааналізаваць плоскія механічныя сістэмы па прыкмеце рухомасці іх частак, то можна падзяліць іх на тры віды: зменлівыя, статычна вызначальныя і статычна невызначальныя. Не паглыбляючыся ў сутнасць і паходжанне гэтых тэрмінаў, прывядзем прыклады розных відаў. На рысунках 5.1, *a*, *b*, *в* механічная сістэма ўяўляе шарнірна-стрыжнявы чатырохвугольнік  $ABCD$ , замацаваны з дапамогай сувязей. Сістэмы адрозніваюцца паміж сабою сукупнай валентнасцю накладзеных на іх сувязей. Сістэма, прадстаўленая на рысунку 5.1, *a*, можа пад дзеяннем сілы  $\vec{F}$  прыняць форму паралэлаграма (паказаны пункцірам), таму яе называюць зменлівай. На наступным рысунку валентнасць сістэмы сувязей павялічана на адзінку — дабаўлена знешняя сувязь  $BK$  (замест яе можна ўсталяваць унутраную сувязь  $MN$ ). Цяпер усе часткі чатырохвугольніка  $ABCD$  становяцца нерухомымі. І ніякая сіла  $\vec{F}$  не здольна без разбурэння змяніць яго форму. Атрыманую механічную сістэму (рыс. 5.1, *b*) называюць статычна вызначальнай. У прыведзеным прыкладзе спатрэбілася толькі адна дадатковая сувязь, каб сістэма ператварылася ў нерухомую. У гэтым выпадку кажуць, што першапачатковая сістэма (гл. рыс. 5.1, *a*) мела *адну ступень свабоды*. Калі ў статычна вызначальную сістэму ўвесці новыя сувязі, то яна ператвараецца ў статычна невызначальную. Прыклад такой сістэмы паказаны на рысунку 5.1, *в*. Яна атрымана шляхам увядзення ў папярэднюю сістэму сувязі  $AE$ .

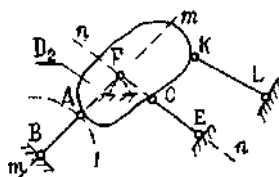
Пройдзем цяпер да больш падрабязнага аналізу зменлівасці і статычнай вызначальнасці сістэм. Разгледзім цела  $D_1$ , на якое накладзена адна двухвалентная сувязь  $A$ . Яно можа перамяшчацца



Рысунак 5.1



Рисунак 5.2



Рисунак 5.3

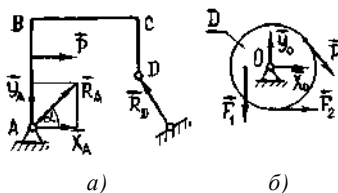
паралельна нерухомай плоскасці (напрыклад, па паверхні стала) вакол свайго пункта  $A$ , як паказана на рысунку 5.2,  $a$  пункцірам. Каб выключыць магчымы рух цела, дастаткова накласці на яго яшчэ адну простую сувязь, напрыклад,  $BC$  (рыс. 5.2,  $b$ ). Разгледзім іншы прыклад. На свабоднае цела  $D_2$ , якое можа перамяшчацца ў плоскасці, накладзена сувязь  $AB$  (рыс. 5.3). Рух цела часткова абмежаваны — яго пункт  $A$  можа рухацца толькі па дузе акружнасці радыуса  $AB$ . Лініяй ўзаемадзеяння з'яўляецца прмая  $m-m$ . Яе ўласцівасці апісаны ў п. 3. Накладзем на цела яшчэ адну простую сувязь  $CE$ . Лініі ўзаемадзеяння двух сувязей з целам  $m-m$  і  $n-n$  перасякаюцца ў пункце  $F$ . Пры нерухомах сувязях  $AB$ ,  $CE$  пункт  $F$  таксама будзе нерухомым. Гэта дазваляе выканаць эквівалентнае пераўтварэнне сувязей: змясціць у пункце  $F$  адну двухвалентную сувязь (паказана пункцірам), адкінуўшы дзве простыя  $AB$  і  $CE$ . Цяпер задача з'ялася да прыклада, які паказаны на рысунку 5.2,  $a$ . Каб цела  $D_2$  стала нерухомым, дастаткова ўсталяваць трэцюю простую сувязь  $KL$ .

Аналізуючы прыклады, прыведзеныя на рысунках 5.2, 5.3, прыходзім да высновы: каб свабоднае цвёрдае цела ў плоскасці замацаваць нерухома, патрэбна накласці на яго трохвалентную сістэму сувязей. Калі да замацаванага такім спосабам цела прыкласці любую нагрузку, яно будзе заставацца нерухомым, інакш — у р а ў н а в а ж а н ы м. Налажэнне новых — звыш трох — сувязей таксама не парушыць раўнавагі цела. Гэтыя дадатковыя сувязі называюцца л і ш н і м і. Цвёрдае цела ў плоскасці з мінімальнай валентнасцю накладзеных на яго сувязей, якія забяспечваюць цэлу раўнавагу пры любых нагрузках, уяўляе прасцейшую с т а т ы ч н а - в ы з н а - ч а л ь н у ю м е х а н і ч н у ю с і с т э м у. Калі ж сістэма ўключае лішнія сувязі, то яна называецца с т а т ы ч н а н е в ы з н а -

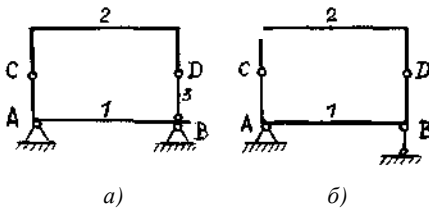
ч а л ь н а й. Механічная сістэма, у якой сувязі не забяспечваюць раўнавагі, называецца з м е н л і в а й.

У адрозненне ад папярэдніх нязменлівых сістэм яна можа змяняць сваё палажэнне ў плоскасці. Прыклад зменлівай сістэмы мы сустрэкалі (гл. рысунку 5.2, а).

Як бачым, статычная вызначальнасць, невызначальнасць і зменлівасць механічных сістэм залежыць ад валентнасці сувязей. Можна гэтыя ж характарыстыкі сістэм звязаць з колькасцю рэакцый простых сувязей, якая роўна валентнасці сістэмы сувязей. Таму можна сцвярджаць: несвабоднае цвёрдае цела ў плоскасці ўяўляе статычна вызначальную сістэму, калі пасля вызвалення ад сувязей да яго прыкладзены тры рэакцыі. Адзначым, што тут і далей, пры падліку сувязей і іх рэакцый, кратныя сувязі пераводзяцца ў простыя. Пры праектаванні трывалых механічных сістэм неабходна вызначаць надзейныя геаметрычныя параметры сувязей, якія залежаць ад велічыні рэакцый. Каб вызначыць рэакцыі, складаюцца так званыя *статычныя ўмовы раўнавагі*, якія маюць форму алгебраічных ураўненняў. Для плоскай сістэмы сіл можна запісаць тры такія ўраўненні і вызначыць з іх тры невядомыя рэакцыі. Адсюль і паходзіць тэрмін *статычна вызначальныя сістэмы*. Калі рэакцый больш за тры, то іх нельга знайсці з трох ураўненняў; таму механічную сістэму называюць статычна невызначальнай. Заўважым, што ў якасці невядомых могуць выкарыстоўвацца і геаметрычныя параметры. Для статычна вызначальнай рамы (рыс. 5.4, а) невядомымі могуць быць велічыні  $\dot{X}_A, \dot{Y}_A, \dot{R}_D$ , альбо  $\dot{R}_A, \dot{R}_D, \alpha$ . Для лепшага засваення тэрміналогіі, звернемся да прыклада (рыс. 5.4, б): вось  $O$  кола  $D$  замацавана з дапамогай двухвалентнай сувязі. Значыць, колькасць простых сувязей роўна двум і механічная сістэма — кола і сувязь — зменлівая (сістэма сувязей не забяспечвае раўнавагі аб'екта пры любой нагрузцы). Але калі вядома, што пры некаторым значэнні сілы  $\vec{P}$  кола нерухома, то можна з трох ураўненняў раўнавагі знайсці невядомыя велічыні:  $P, X_O, Y_O$ . У гэтым выпадку прынята



Рисунак 5.4



Рисунак 5.5

гаварыць аб *статычна вызначальнай задачы*. У дадзеным прыкладзе зменлівая механічная сістэма ўваходзіць ва ўмову статычна вызначальнай задачы і, пры спецыяльна падбранай нагрузцы (гл. рыс. 5.4, б), можа быць ураўнаважанай.

Вышэй разглядалася сістэма з аднаго несвабоднага цела. Усе разважанні аб статычнай вызначальнасці будуць справядлівымі і ў выпадку, калі цела замяніць жорсткай сукупнасцю цел. Жорсткасць сістэмы залежыць ад колькасці цел, валентнасці сістэмы сувязей і іх размяшчэння. Паколькі вышэй аналізаваліся толькі знешнія сувязі, то даследаваная вызначальнасць называецца знешняй. Аналагічна ўстанаўліваецца і ўнутраная статычная вызначальнасць самой жорсткай сістэмы: калі ўраўненняў статыкі дастаткова для вызначэння ўсіх рэакцый унутраных сувязей, то яна ўнутрана статычна вызначальная.

На рысунку 5.5, а рама ўнутрана статычна вызначальная, а знешне — статычна нывызначальная; на рысунку 5.5, б наадварот: рама знешне статычна вызначальная, а ўнутрана — статычна нывызначальная. Рисунак 5.5 стане больш зразумелым пасля вывучэння п. п. 8 і 13.

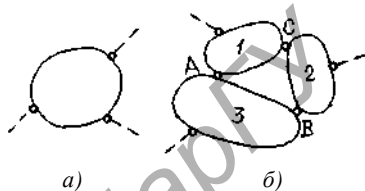
Статычна вызначальную знешне і ўнутрана сістэму называюць *поўнасцю статычна вызначальнай* альбо *статычна вызначальнай*. Зменлівасць сістэмы таксама можа быць знешняй і ўнутранай.

**П**

1. Як падраздзяляюцца механічныя сістэмы па прыкмеце рухомасці іх частак?
2. Якую мінімальную валентнасць павінна мець сістэма сувязей для нерухомага замацавання цела ў плоскасці?
3. Якія сувязі, накладзеныя на сістэму, называюць лішнімі?
4. Апішыце прасцейшую статычна вызначальную механічную сістэму.
5. Якая механічная сістэма называецца зменлівай?
6. Як адрозніць прасцейшую статычна вызначальную сістэму па колькасці прыкладзеных да яе рэакцый?
7. Адкуль паходзіць тэрмін «статычна вызначальныя сістэмы»?
8. Чым адрозніваюцца паняцці «статычна вызначальная сістэма» і «статычна вызначальная задача»?
9. У чым заключаецца адметнасць унутранай статычнай вызначальнасці?

## 6 ПЕРШАСНЫЯ СТАТЫЧНА ВЫЗНАЧАЛЬНЫЯ СІСТЭМЫ

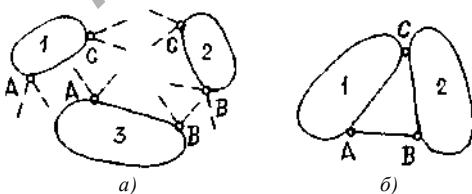
Першаснымі (элементарнымі) статычна вызначальнымі называюцца сістэмы, утвораныя з цвёрдых цел ці з матэрыяльных пунктаў, якія не дзеляцца на самастойныя статычна вызначальныя сістэмы. Падзяленне сістэмы на больш простыя часткі выконваецца шляхам ўяўнага поўнага ці частковага вызвалення яе ад сувязей з абавязковым захаваннем цэласнасці ўваходзячых у сістэму цел: сістэму «рэжуць» на часткі па сувязях. Сістэмы, якія складаюцца толькі з матэрыяльных пунктаў, матэрыяльных пунктаў і цвёрдых цел, тут не аналізуюцца.



Рысунк 6.1

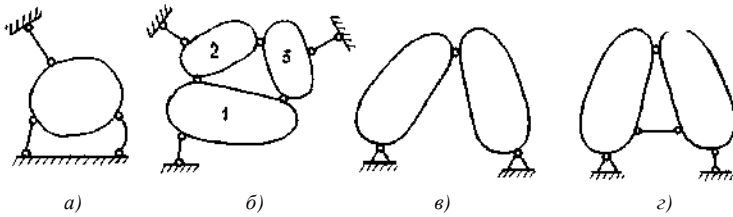
Разгледзім спачатку свабодныя першасныя сістэмы (рыс. 6.1). Да іх адносяцца: адно цела з трохвалентнай сістэмай *свабодных* сувязей і сукупнасць трох цвёрдых цел, змацаваных паміж сабою з дапамогай двухвалентных сувязей *A*, *B*, *C*; кожная з іх можа быць заменена дзвюма простымі сувязямі. Свабодныя першасныя сістэмы будзем абазначаць літарамі з лічбамі — *C1* (рыс. 6.1, *a*) і *C2* (рыс. 6.1, *б*). Літара «*C*» тут узята са слова *свабодная*.

Дапытлівы чытач можа ўсумніцца ў тым, што сістэма *C2* адпавядае прыведзенаму вышэй азначэнню першасных сістэм. На першы погляд яна падзяляецца на тры першасныя сістэмы *C1*, а на самай справе пры дзяленні сістэмы *C2* на часткі, кожнае з цел 1, 2, 3 будзе мець не тры, як у *C1*, а чатыры свабодныя сувязі (рыс. 6.2, *a*). А ці можна стварыць статычна вызначальную сістэму з меншай колькасці цел, чым у *C2*? Так, можна. Уявім, што адно з цел у сістэме *C2*,



Рысунк 6.2

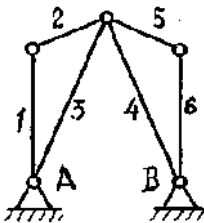
напрыклад цела 3, не нагружана знешняй нагрузкай. Тады яго можна разглядаць як аднавалентную ўнутраную сувязь у сістэме двух цел 1, 2. Такім чынам, мы прыходзім да свабоднай сістэмы



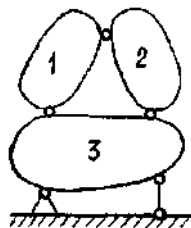
Рисунак 6.3

з двух цел, паказанай на рысунку 6.2, б. Але атрыманая сістэма не з'яўляецца першаснай, таму што пры яе дзяленні ўтвараюцца дзве сістэмы С1.

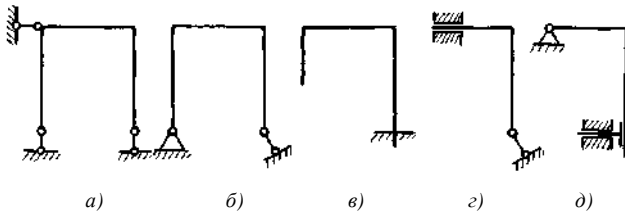
Пяройдзем да разгляду несвабодных першасных сістэм. Яны ўтвараюцца са свабодных сістэм шляхам налажэння на іх знешніх сувязей. Атрыманыя такім чынам сістэмы (рыс. 6.3) абазначаны спалучэннямі літар і лічбаў: НС1 — НС4, дзе літары ўзяты са слова *несвабодная*. Валентнасць знешніх сувязей у сістэмах НС1, НС2 роўна тром. Накладзеныя сувязі могуць уяўляць стрыжні, нерухомя цыліндрычныя шарніры, жорсткія замацоўкі. У сістэмы НС2 ёсць адно абмежаванне: знешнія сувязі павінны накладвацца на два або на тры яе целы. Сістэма будзе статычна вызначальнай і ў выпадку, калі ўсе сувязі будуць замацоўваць толькі адно яе цела, але тады яе нельга аднесці да першаснай. Такая сістэма (рыс. 6.4) можа быць спрошчана. Калі адкінуць целы 1 і 2, то атрымаем сістэму НС1 (рыс. 6.3, а). Цела 3 на рысунку 6.4 можна разглядаць як жорсткую аснову для цел 1, 2. Тады гэтую статычна вызначальную сукупнасць двух цел можна атаясамліваць з сістэмай НС3 (рыс. 6.3, в). Такім чынам, калі ў свабоднай першаснай сістэме С2 усе тры сувязі



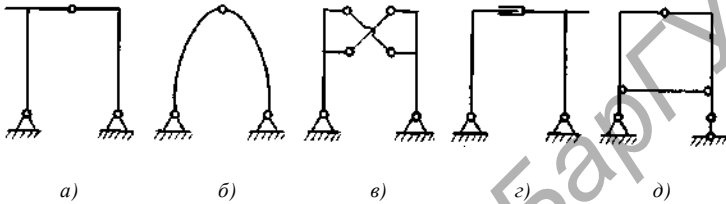
Рисунак 6.4



Рисунак 6.5



Рысунак 6.6



Рысунак 6.7

накласці на адно цела, то яна ператвараецца ў складаную з дзвюх несвабодных першасных сістэм НС1, НС3. Апошняя мае чатырохвалентную сістэму знешніх сувязей. Першасная сістэма НС4 атрымана з сістэмы НС3 шляхам перамяшчэння адной простае знешняй сувязі ва ўнутр сістэмы. Далей першасныя сістэмы з двюх і трох целаў будзем называць адпаведна дыяды і трыяды. Гэтыя назвы часам прымяняюцца і для складаных механічных сістэм з двух альбо трох частак, у кожную з іх уваходзіць некалькі цел. Прыклад складанай дыяды прыведзены на рысунку 6.5. Кожная з яе частак уключае тры целы (стрыжні). Для абазначэння дыяд і трыяд будзем нараўне з ранейшымі абазначэннямі выкарыстоўваюць літары Д і Т. Напрыклад, дыяду (рыс. 6.5) можна абазначыць Д (1—3, 4—6).

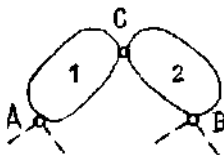
Прыклады выкарыстання шырока распаўсюджаных сістэм НС1, НС3 у прасцейшых стрыжнявых канструкцыях прыведзены на рысунках 6.6, 6.7.

Аб магчымасці павелічэння колькасці несвабодных першасных статычна вызначальных сістэм будзе сказана ў п. 17.

1. Што ўяўляюць сабою першасныя статычна вызначальныя сістэмы?
2. Апішыце свабодныя першасныя сістэмы. Як яны абазначаюцца?
3. Апішыце несвабодныя першасныя сістэмы. Якія абазначэнні прыняты для іх?
4. Якое абмежаванне ўведзена для сістэмы HC2 на размяшчэнне знешніх сувязей?
5. Якія першасныя сістэмы называюць дыядай і трыядай? Якія абазначэнні ўведзены для іх?
6. Як называюцца знешнія сувязі першасных сістэм, змешчаных на рысунку 6.6? Якая ў іх валентнасць?
7. Як называюцца ўнутраныя сувязі першасных сістэм, змешчаных на рысунку 6.7? Вызначце іх валентнасць.

## 7 УТВАРЭННЕ (СІНТЭЗ) СКЛАДАНЫХ МЕХАНІЧНЫХ СІСТЭМ

С к л а д а н а й будзем называць механічную сістэму, якая ўтворана з некалькіх першасных сістэм. Разгледзем такія спосабы утварэння складаных сістэм, пры якім атрыманая сістэма будзе статычна вызначальнай. Часткі, з якіх сінтэзуюцца складаная сістэма будзем называць структурнымі элементамі сінтэзу або падсістэмамі складанай структуры. Да іх адносяцца найперш разгледжаныя вышэй свабодныя і несвабодныя першасныя сістэмы. Так, свабодная складаная сістэма можа ўключаць толькі падсістэмы C1 ці C2, альбо тыя і другія адначасова. Тэрмін «падсістэма» можна ўжываць і для назвы частак сістэмы, якія складаюцца з некалькіх першасных элементаў, калі гэтыя часткі ўваходзяць у склад яшчэ больш складанай *суперсістэмы*. Тады неабходна адзначаць падсістэмы *першага, другога і г. д. узроўню*.



Рысунк 7.1

У якасці самастойнага структурнага элемента сінтэзу складаных сістэм уявдзем зменную дыяду C3 з двухвалентнай сувязю C і двухвалентнымі свабоднымі знешнімі сувязямі A і B у цел 1, 2 (рыс. 7.1). Кожная з двухвалентных сувязей A, B, C,

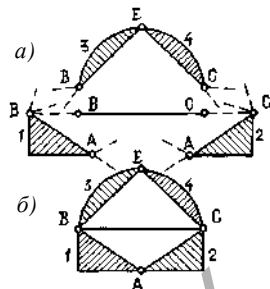
мога быць заменена простымі. У працэсе сінтэзу структурныя элементы С1, С2 уключаюцца ў складаную структуру з дапамогай трохвалентнай, а дыяды С3 — чатырхвалентнай сістэмы сувязей. Прыклад утварэння складанай свабоднай механічнай сістэмы з трох падсістэм прыведзены на рысунку 7.2.

На рысунку 7.2, *а* паказаны падсістэмы паасобку, на 7.2 *б* — утвораная з іх складаная сістэма. Паслядоўнасць яе «мантажу» можна апісаць *формулай будовы*:

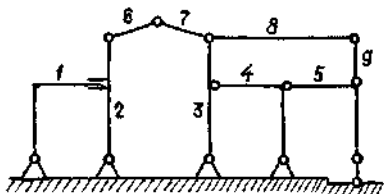
$$C1 (1) \longrightarrow C1 (2) \longrightarrow C3 (3, 4).$$

Гэты запіс трэба разумець так: да цэла 1, якое мае тры свабодныя сувязі ў пунктах *A* і *B*, далучаецца такое ж цэла 2 (цэлы 1 і 2 — падсістэмы тыпу С1); да атрыманай нязменнай сістэмы далучаецца дыяда С3 (3, 4) пры дапамозе двухвалентных сувязей *B* і *C*. Тут у дужках запісаны нумары 3, 4 цел, якія ўтвараюць дыяду. Сувязі *B* і *C* (гл. рыс. 7.2) сумешчаны з шарнірамі стрыжня *BC*, але іх можна ўсталяваць на цэлах 1, 2 асобна.

Пяройдзем да сінтэзу складаных несвабодных сістэм. Іх структурнымі элементамі могуць быць як несвабодныя першасныя сістэмы, так і свабодныя. У працэсе сінтэзу, у залежнасці ад палажэння падсістэм у структуры ўсёй складанай сістэмы, частка іх знешніх сувязей або ўсе яны могуць становіцца ўнутранымі. Валентнасць сістэмы знешніх сувязей падсістэм служыць вызначальнай характарыстыкай іх *узроўню* ў складанай сістэме. Па гэтай прыкмеце будзем адрозніваць *базісныя* (ніжэйшы ўзровень), *надбудаваныя* (вышэйшы) і *прамежныя* (сярэдні) падсістэмы. Да базісных будзем адносіць падсістэмы, якія пры дапамозе ўсіх сваіх знешніх (ці свабодных) сувязей замацоўваюцца на жорсткай аснове. Характэрная ўласцівасць базісных падсістэм: яны могуць існаваць у якасці самастойных статычна вызначальных сістэм. Такія прыклады мы бачылі вышэй на рысунках 6.6 (гл. с. 20), 6.7 (гл. с. 21). У надбудаваных падсістэмах адсутнічаюць знешнія сувязі, а прамежныя абсталяваныя як знешнімі, так і ўнутранымі іх тыпамі. У адрозненне



Рысунк 7.2



Рисунак 7.3

ад базісных, надбудаванья і прамежныя падсістэмы існуюць толькі як структурныя элементы складаных сістэм. Паказаная на рысунку 7.3 сістэма ўключае падсістэмы ўсіх трох тыпаў: дзве базісныя НСЗ (1, 2), НСЗ (3, 4); адну прамежную НС1(5) і дзве надбудаванья — НСЗ (6, 7), НСЗ (8, 9).

Сінтэз складанай сістэмы пачынаецца з устаноўкі на жорсткай аснове базісных падсістэм. Затым да іх далучаюцца прамежныя і надбудаванья элементы. Тэхналогію ўтварэння апісанай тут сістэмы (рыс.7.3) — паслядоўнасць уключэння першасных элементаў — можна паказаць з дапамогай наступнай формулы будовы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{НСЗ (1, 2)} \\ \text{НСЗ (3, 4)} \end{array} \right\} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{НС 1(5)} \\ \text{НСЗ (6, 7)} \end{array} \right\} \longrightarrow \text{НСЗ(8,9)} \quad \text{а)}$$

Магчымы іншы парадак яе сінтэзу:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{НСЗ (1, 2)} \\ \text{НСЗ (3, 4)} \end{array} \right\} \longrightarrow \text{НС1 (5)} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{НСЗ (6, 7)} \\ \text{НСЗ (8, 9)} \end{array} \right\} \quad \text{б)}$$

У формулах (а), (б) несвабодныя першасныя сістэмы, якія на рысунку 7.3 не маюць знешніх сувязей, можна замяніць свабоднымі. Так, замест НСЗ (6, 7), НСЗ (8, 9) можна запісаць СЗ (6, 7), СЗ (8, 9). Чарговасць далучэння першасных сістэм, змешчаных у адной калонцы структурнай формулы, дапускаецца змяняць або весці «мантаж» адначасова.

Формулу структурнага сінтэзу сістэмы можна выкарыстоўваць для яе сілавога аналізу, калі ўлічыць наступную выдатную ўласцівасць формулы: дзеянне на грузкі, прыкладзенай да якой-небудзь падсістэмы, не перадаецца на элементы, якія раз-

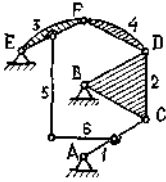
мешчаны ў формуле будовы справа ад нагружанай падсістэмы. Так, на прыведзеных вышэй схемах (а), (б) да рысунка 7.3, усе элементы структуры механічнай сістэмы змешчаны справа ад базісных падсістэм НС3 (1, 2), НС3 (3, 4). Значыць, яны не будуць успрымаць уздзеянне на грузкі, прыкладзенай да згаданых базісных падсістэм.

**П**

1. Якая механічная сістэма называецца складанай?
2. Што сабою ўяўляюць структурныя элементы сінтэзу або падсістэмы складанай структуры? Прывядзіце прыклады падсістэм.
3. Якія назвы маюць падсістэмы, што складаюцца з некалькіх першасных элементаў?
4. Ахарактарызуйце зменную дыяду С3. Якую валентнасць маюць яе сувязі?
5. Запішыце самастойна формулу будовы для складанай механічнай сістэмы, паказанай на рысунку 7.2.
6. Як падраздзяляюцца падсістэмы ў залежнасці ад валентнасці сістэмы знешніх сувязей?
7. Якія падсістэмы адносяцца да базісных, надбудаваных і прамежных?
8. У чым заключаецца характэрная ўласцівасць базісных падсістэм?
9. У якім парадку праводзіцца сінтэз складаных механічных сістэм?
10. Што азначае змяшчэнне структурных элементаў сінтэзу ў адным слупку (калонцы) формулы будовы?
11. Якая ўласцівасць формулы будовы выкарыстоўваецца для сілавога аналізу механічнай сістэмы?

## **8 АНАЛІЗ СТРУКТУРЫ І ПАРАДАК СІЛОВОГА РАЗЛІКУ СКЛАДАНЫХ СІСТЭМ**

У п. 7 мы разглядалі парадак утварэння (сінтэзу) складаных статычна вызначальных механічных сістэм. У інжынернай практыцы сустракаюцца задачы адваротнага зместу, у якіх неабходна вывучыць уласцівасці ўжо існуючай механічнай сістэмы, у прыватнасці, даследаваць яе статычную вызначальнасць. З гэтай мэтай выконваецца аналіз структуры існуючай сістэмы: дзяленне яе на першасныя элементы — падсістэмы. Паслядоўнасць аналізу адваротна сінтэзу: спачатку выдзяляюцца надбудаваныя падсістэмы, затым прамежныя і базісныя.



Рисунак 8.1

Калі ў выніку аналізу («дэмантажу») высветліцца, што дадзеная сістэма складаецца з разгледжаных раней (п. б) першасных падсістэм, то яна статычна вызначальная. Даследуем сістэму, паказаную на рысунку 8.1.

Найперш, знаходзім падсістэму, якая не мае знешніх сувязей, гэта — СЗ (5, 6). Затым вылучаем прамежную падсістэму НСЗ (3, 4) са знешняй сувяззю  $E$  і ўнутранай  $D$ . Застаецца на жорсткай аснове базісная падсістэма — дыяда НСЗ (1, 2) з двухвалентнымі знешнімі сувязямі  $A, B$ . Прыходзім да высновы, што разгледжаная сістэма статычна вызначальная.

Звернемся зноў да рысунка 5.5, а (гл. с. 18). Разгледзім спачатку раму як свабодны матэрыяльны аб'ект (без знешніх сувязей  $A, B$ ). Яна складаецца з дыяды Д (2, 3) і падсістэмы С1 (цела 1) і таму з'яўляецца ўнутрана статычна вызначальнай. Калі ж улічыць двухвалентныя сувязі  $A$  і  $B$ , то ўбачым, што на цела 1 накладзена чатырохвалентная сістэма знешніх сувязей, тады як у першаснай падсістэме іх валентнасць павінна быць роўна тром. Значыць падсістэма мае адну лішнюю сувязь. Таму яна і ўся рама знешне статычна невызначальныя. На рысунку 5.5, б (гл. с. 18) целы 1, 2 спалучаюцца з дапамогай чатырохвалентнай сістэмы ўнутраных сувязей  $C, D$  і таму не могуць быць аднесены да статычна вызначальных падсістэм НС1. Заклучаем, што рама ўнутрана статычна невызначальная, бо мае адну лішнюю сувязь. Разам з тым заўважаем, што на жорсткую сістэму цел 1, 2 накладзена трохвалентная сістэма знешніх сувязей  $A, B$ . Гэта сведчыць аб тым, што яна знешне статычна вызначальная.

Сілавы разлік падсістэм выконваецца ў такой жа паслядоўнасці, як і структурны аналіз. Пры гэтым прымаецца да ўвагі прыведзеная ў п. 7 уласцівасць формулы будовы

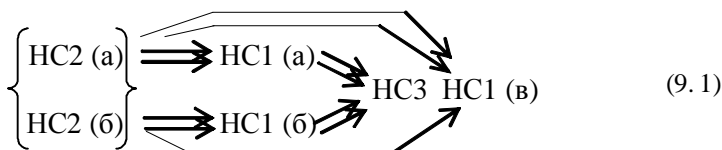
**П**

1. Апішыце паслядоўнасць аналізу складаных механічных сістэм. Як пры гэтым устанаўліваецца статычная вызначальнасць механічных сістэм?
2. Правядзіце самастойна аналіз структуры механічнай сістэмы, якая паказана на рысунку 8.1.
3. Як пераканацца, што сістэмы, паказаныя на рысунку 5.5, будуць з'яўляцца статычна невызначальнымі?
4. У якой паслядоўнасці выконваецца сілавы разлік падсістэм?

## 9 УДАКЛАДНЕННЕ ФОРМУЛЫ БУДОВЫ СКЛАДАНЫХ СИСТЭМ

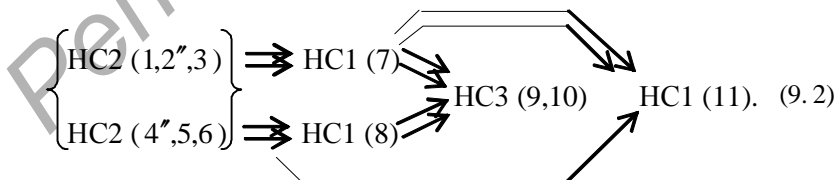
З п.7 бачна, што формулы будовы паказваюць, з якіх першасных элементаў складаюцца сістэмы, і ў якой паслядоўнасці гэтыя элементы ўключаюцца ў сістэмы ў працэсе сінтэзу. Заданым формулам уласцівы істотны недахоп — яны не ўтрымліваюць інфармацыю аб узроўні падсістэм, з якіх складаецца сістэма. Так, у формуле (а), што змешчана ў п. 7, можна адназначна вылучыць толькі базісныя падсістэмы НС3 (1, 2) і НС3 (3, 4) — з іх пачынаецца формула будовы (і сінтэз сістэмы). Але з формулы (а) нельга вызначыць да якога ўзроўню: прамежных ці надбудаваных належаць астатнія падсістэмы. Калі гэтая інфармацыя неабходна для канструктара, патрэбна выкарыстоўваць больш дакладныя формулы будовы, якія дадаткова змяшчаюць звесткі аб валентнасці ўнутраных сувязей. Такія формулы будзем называць  $\nu$ -формуламі будовы (літара  $\nu$  тут запазычана з лацінскага слова «*valentia*»). Іх адметная ўласцівасць заключаецца ў наступным: у  $\nu$ -формулах будовы колькасць стрэлак, што злучаюць два сумежныя элементы формулы, роўна валентнасці ўнутраных сувязей паміж адпаведнымі падсістэмамі.

Як жа вызначыць узровень якой-небудзь падсістэмы, ведаючы валентнасць унутраных сувязей, з дапамогай якіх яна далучаецца да падсістэмы больш нізкага ўзроўню? У якасці прыклада разгледзім першасную сістэму С1 ці НС1. Кожная з іх уключаецца ў складаную механічную сістэму з дапамогай трохвалентнай сістэмы сувязей. Калі з  $\nu$ -формулы будовы выясняецца, што дзве з іх унутраныя, то трэцяя сувязь — знешняя. Вядома, што падсістэма, якая мае знешнія ўнутраныя сувязі, адносіцца да прамежных. Калі ж у падсістэм С1 ці НС1 усе тры сувязі ўнутраныя, то яны надбудаваныя. Разгледзім іншыя прыклады вызначэння ўзроўню падсістэм з  $\nu$ -формулы будовы. Няхай дадзена наступная  $\nu$ -формула:



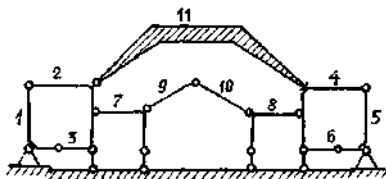
Сістэма, апісаная гэтай  $\nu$ -формулай будовы, складаецца з васьмі першасных сістэм розных тыпаў: трох НС1, дзвюх НС2 і адной НС3. Любая формула будовы пачынаецца з абзначэння базісных падсістэм. У формуле (9.1, гл. с27) да іх належаць падсістэмы НС2 (а) і НС2 (б). Да кожнага з элементаў НС1 (а), НС1 (б) у  $\nu$ -формуле накіраваны дзве стрэлкі. Гэта азначае, што паміж імі і падсістэмамі НС2 (а), НС2 (б) усталяваны двухвалентныя ўнутраныя сувязі. Трэція сувязі будуць знешнімі; таму падсістэмы адносяцца да прамежных. Дыяда НС3 звычайна далучаецца да любой сістэмы з дапамогай чатырох простых сувязей. І як відаць з формулы (9.1) — у прыведзеным прыкладзе да элемента НС3 накіраваны чатыры стрэлкі, якія з'яўляюцца ўнутранымі. Таму дыяда (9.1) — надбудаваная падсістэма. Да таго ж узроўню належыць і структурны элемент НС1 (в) — у яго таксама ўсе тры сувязі ўнутраныя.

Атрымаўшы з  $\nu$ -формулы будовы (9.1) інфармацыю аб узроўнях падсістэм, можна прыступаць да сінтэзу складанай сістэмы. Трэба адзначыць, што формулы будовы не вызначаюць геаметрычных форм сістэм. Таму на падставе адной і той жа формулы можна стварыць безліч разнастайных па форме механічных сістэм. Пры пабудове сістэм у якасці цел будзем выкарыстоўваць пераважна стрыжні, таму што яны прасцей, чым іншыя целы, для графічнага выканання. На рысунку 9.1 (гл. с. 29) паказаны адзін з магчымых варыянтаў сістэм, зададзеных формулай (9.1). Увядзем лічбавыя абзначэнні цел, што ўтвараюць яе падсістэмы. Пасля гэтага папярэдняю  $\nu$ -формулу будовы можна запісаць наступным чынам:



Выкарыстанне лічбавых абзначэнняў цел дазволіла канкрэтызаваць  $\nu$ -формулу (9.1). Сапраўды, у формуле (9.1) бачна, што падсістэмы НС1 (а) і НС1 (в) звязаны з базіснай падсістэмай НС2 (а), але да якога з трох яе цел прымацаваны названыя падсістэмы, не відаць.

На рысунку 9.1 гэтыя падсістэмы далучаны да цэла 2; таму ў формуле 9.2 (гл. с. 28) лічба 2 адзначана двума штрыхамі, якія і вызначаюць колькасць цел, далучаных да стрыжня 2. Такая ж колькасць сістэм абапіраецца на цэла 4, што ўваходзіць у падсістэму НС2 (4", 5, 6). А вось у падсістэмах, утвораных адным цэлам, напрыклад, НС1 (7), НС1 (8), з якімі кантактуе структурны элемент НС3 (9, 10), канкрэтызацыя з дапамогай штрыхоў не патрэбна.



Рысунк 9.1

У некаторых выпадках пры складанні формулы будовы ставіцца абмежаваная мэта: апісаць узровень падсістэм, якія ўтвараюць складаную сістэму. Тады элементамі формулы будуць скарачаныя назвы ўзроўню падсістэм. У якасці прыклада перапішам формулу (9.2):

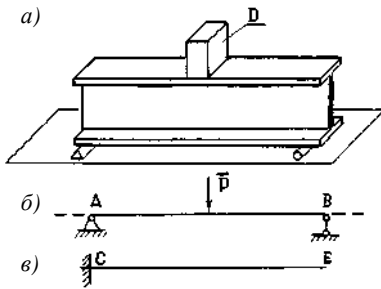
$$\left\{ \begin{array}{l} B_1 \\ B_2 \end{array} \right\} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} Pr_1 \\ Pr_2 \end{array} \right\} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} Hb_1 \\ Hb_2 \end{array} \right\}$$

**П**

1. Навошта патрэбны  $v$ -формулы будовы і ў чым заключаецца іх адрозная ўласцівасць?
2. Як з  $v$ -формулы будовы вызначыць узровень падсістэмы?
3. Вызначце самастойна ўзровень падсістэм, якія ўваходзяць у  $v$ -формулу будовы (9.1).
4. Што азначаюць штрыхі над лічбамі ў  $v$ -формуле будовы (9.2)?

## 10 ШМАТРАЛЁТНЫЯ СТАТЫЧНА ВYZНАЧАЛЬНЫЯ БЭЛЬКІ

Б э л ь к а м і будзем называць прамалінейныя стрыжні, якія замацаваны гарызантальна і ўспрымаюць пераважна вертыкальную нагрузку. Сустрэкаюцца і нахіленыя бэлькі. Сувязі, пры дапамозе якіх бэлькі ўтрымліваюцца ў раўнавазе, называюць а п о р а м і. Апоры могуць быць *рухомымі* і *нерухомымі*. Па сваіх ўласцівасцях яны аналагічны ідэальным рухомым і нерухомым цыліндрычным



Рисунак 10.1

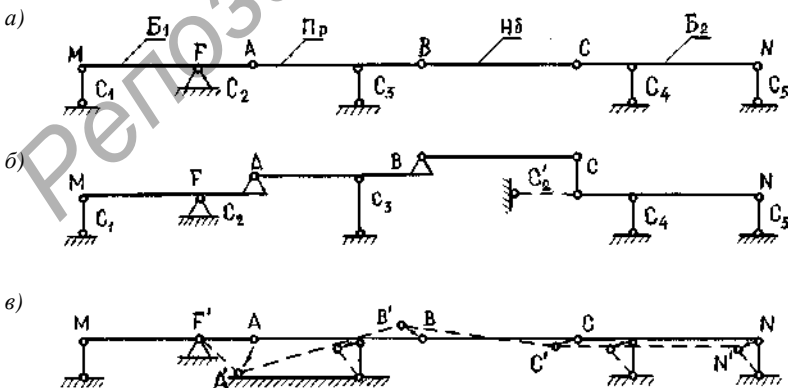
шарнірам. У якасі апор выкарыстоўваюцца і жорсткія замацоўкі.

Адлегласць паміж суседнімі апорамі называюць пралятам бэлькі. На рысунку 10.1, а паказана двухтаўровая бэлька, нагружаная сілай цяжару цела  $D$ , а на рысунку 10.1, б — яе разліковая схема, якая ўяўляе сабой геаметрычную вось дзвухтаўра. Бэлька, якая мае адзін або два выступы

(кансолі) за межы апораў (гл. рыс. 10.1, б — кансолі паказаны пункцірам), называецца дзвухапорнай адна- або дзвухкансольнай. Бэлька з жорсткай замацоўкай называецца проста кансольнай ці кансоллю (рыс. 10.1, в).

Стрыжні, якія не падзелены на часткі шарнірамі, называюцца суцэльнымі. На рысунках 10.1, б, в такімі з'яўляюцца стрыжні  $AB$  і  $CE$ . На рысунку 10.2, а стрыжань  $MN$  падзелены на чатыры часткі пры дапамозе трох шарніраў  $A, B, C$ .

Бэлькі, якія складаюцца з аднаго суцэльнага стрыжня і дзвюх апораў ці са стрыжня з жорсткай замацоўкай, называюцца прастымі. Калі правядзем сінтэз простых бэлек, гэта значыць аб'яднаем іх па вызначанаму правілу, то атрымаем адну шматпралятную (састаўную) бэльку. Яе можна ўтварыць інакш:



Рисунак 10.2

доўгую суцэльную бэльку падзяліць пры дапамозе шарніраў на часткі і адначасова павялічыць колькасць апораў. Шматпралётныя бэлькі з шарнірамі, у адрозненне ад суцэльных, часам называюць *р а з р а з н ы м і*.

Сілавому разліку шматпралётных бэлек папярэднічае аналіз іх структуры, гэта значыць дзяленне на простыя бэлькі з вызначэннем іх узроўню: ніжэйшы (базісныя бэлькі), сярэдні (прамежныя) і вышэйшы (надбудаваныя). Пры гэтым на схемах выкарыстоўваюць уведзеныя ў п. 7 абазначэнні падсістэм: Б, Пр, Нб. На рысунку 10.2, *а* (гл. с. 30) прадстаўлена чатырохпралётная бэлька *MN*, вызначаны і абазначаны ўзроўні простых бэлек, што яе ўтвараюць. На рысунку 10.2, *б* пабудавана разліковая схема ўзаемадзеяння простых бэлек. Яна патрэбна канструктарам для вызначэння ўплыву нагрузкі на трываласць самой бэлькі, яе апораў і шарніраў. Пры гэтым выкарыстоўваецца знамянальная ўласцівасць схемы ўзаемадзеяння: вертыкальная нагрузка, прыкладзеная да якой-небудзь простае бэлькі, перадаецца ад яе толькі на бэлькі ніжэйшага ўзроўню. Напрыклад, калі прыкладзена сіла да простае бэлькі *BC* (гл. рыс. 10.2), то будуць нагужаны і ўсе астатнія бэлькі, таму што ўсе яны належаць да больш нізкага ўзроўню. А сіла, прыкладзеная да бэлькі *MA*, успрымаецца толькі гэтай бэлькай. А вось валентнасць яе знешніх сувязей роўна двум (апоры  $C_4, C_5$  утрымліваюць бэльку ад вертыкальнага перамяшчэння), і па гэтай фармальнай прыкмеце яна павінна быць аднесена да прамежнай. Аднак, аналізуючы рысунак 10.2, *а*, заўважым, што бэлька *CN* не можа перамяшчацца і гарызантальна, значыць, яна мае трэцюю сувязь, якую ёй забяспечвае нерухомае апора (гэтая сувязь утрымлівае ад гарызантальнага перамяшчэння і ўсе астатнія бэлькі). На рысунку 10.2, *б* запазычаная сувязь  $C_2$  паказана пункцірам. Як бачым, на схеме ўзаемадзеяння валентнасць сістэмы сувязей кожнай простае бэлькі роўна тром. Меншая валентнасць можа азначаць памылку ў структуры шматпралётнай бэлькі, якая прыводзіць да разбурэння сістэмы.

Схема ўзаемадзеяння выкарыстоўваецца пры пабудове бэлькі для вызначэння паслядоўнасці мантажу (зборкі) яе частак. Спачатку на апорах замацоўваюць простыя бэлькі ніжэйшага ўзроўню,

затым прамежныя. Завяршаюць мантаж бэлькамі вышэйшага ўзроўню — надбудаванымі. У працэсе зборкі для бэлькі  $CN$  патрэбна часовая («мантажная») сувязь  $C_2$ . Паслядоўнасць «мантажу» і схему ўзаемадзеяння можна прадставіць сімвалічна, з дапамогай наступнай формулы будовы:

$$\left\{ \begin{array}{l} B_1 (MA) \\ B_2 (CN) \end{array} \right\} \longrightarrow \text{Пр} (AB) \longrightarrow \text{Нб} (BC). \quad (a)$$

*Заўвага.* На рысунку 10.2, б (гл. с. 30) пабудавана схема ўзаемадзеяння, разлічаная на спецыфічную для бэлькі вертыкальную нагрузку. Пры гэтым яе часткі  $BC$  і  $CN$  прадстаўлены самастойнымі падсістэмамі. Пры дзеянні адвольнай нагрузкі ўчастак бэлькі  $BN$  трэба разглядаць як адзін першасны элемент — дыяда  $D (BC, CN)$ . У структуры бэлькі яна будзе прамежнай падсістэмай, таму што мае знешнія сувязі  $C_4, C_5$ . Формула будовы прыме выгляд:

$$B (MA) \longrightarrow \text{Пр} (AB) \longrightarrow \text{Пр} (BC, CN). \quad (б)$$

У адрозненне ад формулы (а), частка бэлькі  $CN$  трапляе ў крайні элемент формулы. Гэта азначае, што дзеянне прыкладзенай да яго невертыкальнай нагрузкі, перадаецца на ўсе часткі бэлькі  $MN$  (таму што ў формуле (б) яны знаходзяцца злева ад элемента, які ўтрымлівае бэльку  $CN$ ).

На рысунку 10.2, в пункцірам паказаны характар разбурэння бэлькі  $MN$  з-за канструктарскай або тэхналагічнай памылкі пры ўстройванні шарніра  $F$  у сувязі  $C_2$ : ён устаноўлены не пад бэлькай (гл. рыс. 10.2, б), а ў сячэнні бэлькі (гл. рыс. 10.2, в). У выніку, кансоль  $FA$  пад дзеяннем сілы цяжару павярнулася ў палажэнне  $F'A'$  і выклікала разбурэнне іншых пралётаў. Такім чынам, пабудова схемы разбурэння бэлькі пачынаецца ад памылковага шарніра, вакол якога паварочваецца непадперты ўчастак бэлькі. Трэба звярнуць увагу, што на гэтай схеме пачатковыя даўжыні ўчасткаў бэлькі не змяняюцца, а шарніры апораў нязменна змацаваны (не слізгаюць) з бэлькамі і асновай. Разбурэнне статычна вызначальнай бэлькі можа наступіць не толькі пры няправільным усталяванні апорнага шарніра, але і пры ўвядзенні ў канструкцыю бэлькі лішняга прамежнага (паміж апорамі) шарніра.

1. Якія механічныя сістэмы называюць бэлькамі?
2. Што ўяўляе сабой апора бэлькі? Якія бываюць апоры?
3. Што такое пралёт і кансоль бэлькі?
4. Якую бэльку называюць кансольнай (ці кансоллю)?
5. Што ўяўляюць сабою простыя бэлькі і іх разліковыя схемы?
6. Як утвараюцца шматпралётныя (разразныя) бэлькі?
7. Якая ўласцівасць схемы ўзаемадзеяння падсістэм выкарыстоўваецца для сілавога аналізу шматпралётнай бэлькі?
8. Чаму роўна валентнасць сістэмы сувязей простай бэлькі?
9. Як выкарыстоўваецца схема ўзаемадзеяння для мантажу шматпралётнай бэлькі?
10. Прааналізуйце па рысунку 10.2,в, як адбываецца разбурэнне шматпралётнай бэлькі пры няправільным усталяванні апорнага шарніра.

## 11 АНАЛІЗ СТРУКТУРЫ ШМАТПРАЛЁТНЫХ БЭЛЕК

### ЗАДАННЕ 1

Для дадзенай шматпралётнай бэлькі неабходна:

1. Абзначыць пралёты, знешнія і ўнутраныя сувязі і скласці агульную характарыстыку бэлькі.
2. Вызначыць узровень яе асобных частак — простых бэлек: ніжэйшы (базісныя), сярэдні (прамежныя), вышэйшы (надбудаваныя).
3. Пабудаваць схему ўзаемадзеяння простых бэлек і прысвоіць ім спецыяльныя нумары.
4. Вызначыць паслядоўнасць мантажу шматпралётнай бэлькі і апісаць яе з дапамогай формулы будовы.
5. Запісаць  $v$ -формулу будовы бэлькі для выпадку, калі да яе прыкладзена адвольная нагрузка.
6. Паказаць схему разбурэння бэлькі ў выпадку канструктыўнай памылкі. У якасці прычын разбурэння бэлькі прыняць: у варыянтах 5, 25 — нерухомы цыліндрычны шарнір замест жорсткай замацоўкі; у варыянтах 1, 12, 13, 16, 17, 29 — шарнір над апорай  $C_2$ ; у астатніх варыянтах — лішні шарнір пасярэдзіне аднаго з бесшарнірных пралётаў.

Схемы шматпралётных бэлек прыведзены на рысунках 11.1 — 11.3. Нумар варыянта схемы роўны нумару студэнта ў спісе групы, або задаецца выкладчыкам.

### Прыклад

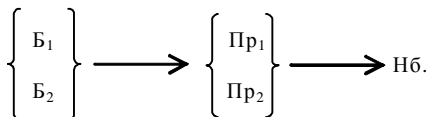
Разгледзім у якасці прыкладу чатырохпрапелётную бэльку  $MN$  (рыс.11.4, *a*, гл. с. 36). Праверым яе аналіз у адпаведнасці з заданнем.

1. Абазначаем прапелёты бэлькі злева на права літарамі  $l_1, l_2, l_3, l_4$ . Першую літару ў слове «сувязь» выкарыстаем для абазначэння апораў:  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ . Унутраныя сувязі (шарніры) абазначым (у тым жа напрамку) літарамі лацінскага алфавіту:  $A, B, C, D$  (рыс. 11.4, *б*). Сувязі  $C_1, C_2, C_4$ , уяўляюць сабою ідэальныя рухомыя цылінд-рычныя шарніры ( $v = 1$ ), сувязь  $C_5$  — жорская замацоўка з валентнасцю роўнай тром. Такім чынам, валентнасць сістэмы знешніх сувязей бэлькі  $MN$  роўна сямі ( $v = 7$ ). У склад разразной бэлькі ўваходзяць: адна кансольная бэлька ( $DN$ ), дзве аднакансольныя ( $MA, CD$ ) і адна двухкансольная ( $AB$ ).

2. Як відаць з рысунка 11.4, б шматпрапелётная бэлька  $MN$  падзелена шарнірамі на пяць простых бэляк. Іх узровень вызначаем па валентнасці сістэмы знешніх сувязей. У бэляк  $AB$  і  $DN$  яна роўна тром; пры гэтым бэлька  $AB$  запэўвае ад сувязі  $C_5$  (рыс. 11.4, *в* — паказана пункцірам і абазначана літарай  $C'_5$ ) трэцюю сувязь, якая ўтрымлівае яе ад гарызантальнага перамяшчэння. Таму яны адносяцца да ніжэйшага ўзроўню. Бэлькі  $MA$  і  $CD$  з валентнасцю знешніх сувязей  $v = 1$  трэба аднесці да сярэдняга ўзроўню, а бэльку  $BC$  ( $v = 0$ ) — да вышэйшага.

3. У адпаведнасці з вызначаным узроўнем простых бэлек пабудавана схема іх узаемадзеяння і ўведзены абазначэнні: для базісных бэлек —  $B_1, B_2$ ; для прамежных —  $Pr_1, Pr_2$ ; для надбудаванай —  $Нб$  (гл. рыс. 11.4, *в*). Сумарная валентнасць сувязей кожнай бэлькі на схеме роўна тром. Гэта забяспечвае ім нерухомасць як у гарызантальным, так і ў вертыкальным напрамках.

4. Вызначаем паслядоўнасць мантажу (зборкі) дадзенай бэлькі (гл. рыс. 11.4, *a*) з простых бэляк. Для гэтага карыстаемся схемай узаемадзеяння. Пачынаем з устаноўкі базісных бэлек  $B_1, B_2$ . Бэлька  $B_1$  да заканчэння мантажу падтрымліваецца ў раўнавазе з дапамогай часовай («мантажнай») сувязі. Затым манціруюцца бэлькі сярэдняга ўзроўню  $Pr_1, Pr_2$ . Апошняя устаўляецца надбудаваная бэлька  $BC$ . Схема ўзаемадзеяння простых бэляк і паслядоўнасць зборкі апісваюцца наступнай формулай будовы:



5. Запісваем  $v$ -формулу будовы (гл. п. 9) з разлікам, што на бэльку дзейнічае адвольная нагрузка (участак  $AC$  раглядаем як дыяду):

6. Будзем схему разбурэння бэлькі (рыс. 11.4, *з*). Прычына разбурэння — памылка пры ўсталяванні шарніра ў апоры  $C_3$ . На рысунку 11.4, *з* разбураны ўчастак паказаны пункцірам. Абвал пачынаецца з бэлькі  $BC$ .

$$HC1 (ND) \Rightarrow HC1 (CD) \Rightarrow HC3(AB, BC) \Rightarrow HC1(AM).$$

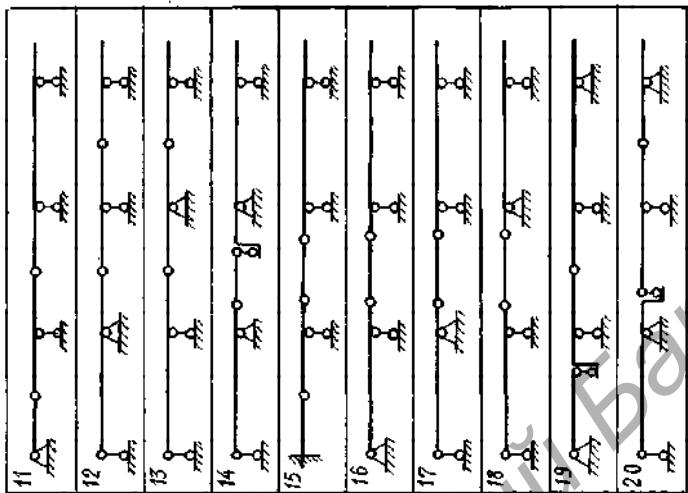


Рисунок 11.2

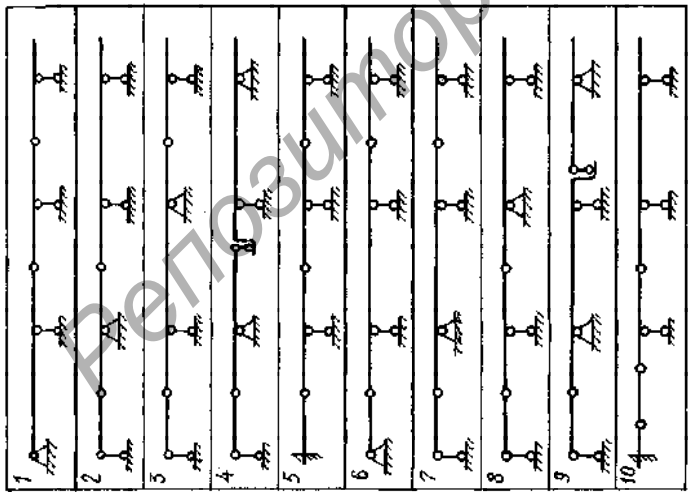


Рисунок 11.1



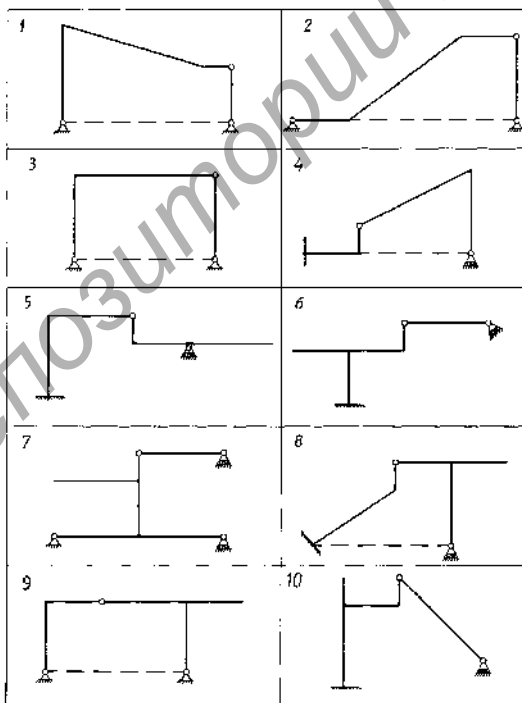
## 12 СІНТЭЗ СКЛАДАНАЙ МЕХАНІЧНАЙ СІСТЭМЫ ПА ЗАДАДЗЕННЫХ ЯЕ ЧАСТКАХ І ФОРМУЛЕ БУДОВЫ

### 3 А Д А Н Н Е 2

Заданне 2 адкрэслівае пытанні сінтэзу складанай механічнай сістэмы па зададзенай формуле будовы і ўключае 30 варыянтаў. У кожным з іх дадзена некалькі механічных сістэм, састаўленых з адной ці двух першасных падсістэм. Неабходна ўтварыць адну складаную сістэму, кіруючыся яе формулай будовы. Зыходныя сістэмы змешчаны на рысунках 12.1 — 12.3, а іх нумары для кожнага варыянта задання і формулы будовы прыведзены ў табліцы 12.1.

Парадак выканання задання:

1. Вычарціць дадзеныя ў заданні сістэмы ў парадку ўзрастання іх нумароў. У тым жа парадку пранумараваць вялікімі літарамі з узрастаючымі індэксамі ( $A_1, A_2, A_3; B_1, B_2, B_3$ ) знешнія і ўнутраныя сувязі.



Рысунк 12.1

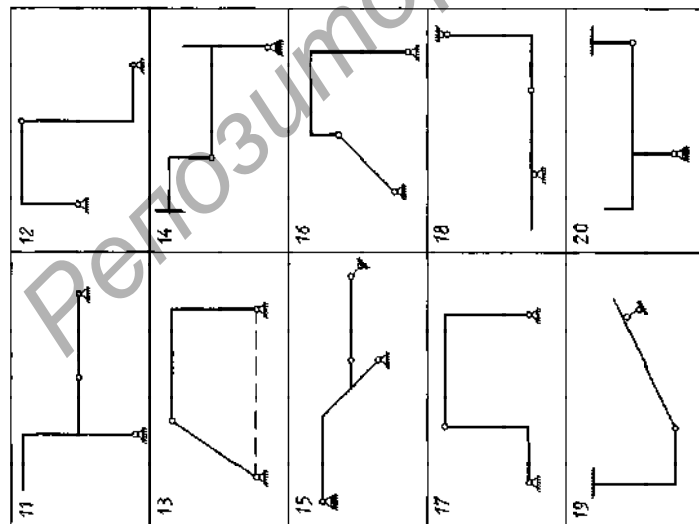


Рисунок 12.1

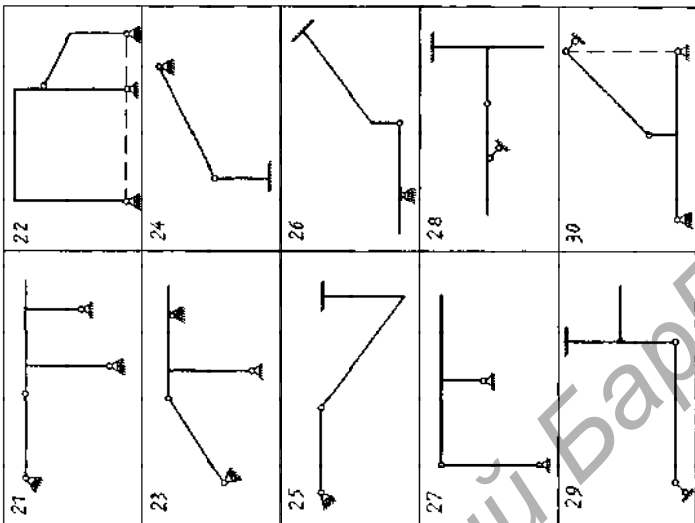


Рисунок 12.2

Таблиця 12.1

№ варьянта	Нумары зададзеных сістэм	Формула будовы складанай сістэмы
1	1, 2, 4	$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow Pr_2 \rightarrow H_6$
2	2, 3, 4	$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_2$
3	3, 4, 6	$(B_1, B_2) \rightarrow Pr \rightarrow H_{6_1} \rightarrow H_{6_2}$
4	1, 2, 3, 7	$(B_1, B_2) \rightarrow H_{6_1} \rightarrow H_{6_2} \rightarrow Pr$
5	3, 4, 5	$(B_1, B_2) \rightarrow Pr \rightarrow H_{6_1} \rightarrow H_{6_2}$
6	6, 7, 9	$B \rightarrow (Pr_1, Pr_2) \rightarrow Pr_3 \rightarrow H_6$
7	3, 8, 9	$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_2$
8	2, 6, 7, 9	$(B_1, B_2) \rightarrow H_6 \rightarrow Pr \rightarrow H_6$
9	4, 7, 8, 9	$(B_1, B_2) \rightarrow Pr \rightarrow H_{6_1} \rightarrow H_{6_2}$
10	7, 9, 10	$B_1 \rightarrow Pr_1 \rightarrow B_2 \rightarrow Pr_2 \rightarrow H_6$
11	11, 12, 13	$(B_1, B_2) \rightarrow (Pr_1, Pr_2) \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_3$
12	12, 13, 17	$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_2 \rightarrow H_6$
13	11, 14, 17	$(B_1, B_2) \rightarrow Pr_1 \rightarrow Pr_2 \rightarrow H_6$
14	13, 14, 20	$B_1 \rightarrow Pr_1 \rightarrow B_2 \rightarrow Pr_2 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_3$
15	15, 17, 20	$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow H_{6_1} \rightarrow H_{6_2} \rightarrow Pr_2$
16	13, 17, 19	$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow Pr_2 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_3$
17	11, 15, 17	$B_1 \rightarrow Pr \rightarrow B_2 \rightarrow H_{6_1} \rightarrow H_{6_2}$
18	12, 14, 21	$B_1 \rightarrow Pr \rightarrow B_2 \rightarrow H_{6_1} \rightarrow H_{6_2}$
19	17, 18, 20	$(B_1, B_2) \rightarrow Pr_1 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_2$
20	15, 16, 17	$B_1 \rightarrow Pr_1 \rightarrow B_2 \rightarrow Pr_2 \rightarrow H_6$
21	20, 21, 24	$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow Pr_2 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_3$
22	20, 23, 25	$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_2 \rightarrow Pr_3$
23	21, 22, 23, 26	$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_2$
24	19, 21, 25	$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow Pr_2 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_3$
25	18, 25, 26	$B_1 \rightarrow Pr_1 \rightarrow B_2 \rightarrow Pr_2 \rightarrow H_6$
26	22, 23, 25	$B \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_1 \rightarrow Pr_2$
27	9, 11, 20	$(B_1, B_2) \rightarrow Pr_1 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_2$
28	8, 12, 25	$B \rightarrow Pr \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_2 \rightarrow Pr_3 \rightarrow Pr_4$
29	23, 25, 26, 27	$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow H_6 \rightarrow Pr_2 \rightarrow Pr_3$
30	23, 29, 30	$B_1 \rightarrow Pr_1 \rightarrow B_2 \rightarrow Pr_2 \rightarrow H_6$

2. Прааналізаваць структуру дадзеных сістэм, вызначыць сімвалічныя назвы ўтвараючых іх падсістэм і пераканацца, што сістэмы статычна вызначальныя.

3. Абзначыць лічбамі ўсе стрыжні дадзеных сістэм (шляхам скразной нумарацыі).

4. Утварыць складаную сістэму, якая адпавядае зададзенай формуле будовы. Захаваць папярэдняю нумарацыю стрыжняў (п. 3).

Складаных сістэм можна атрымаць некалькі.

5. Запісаць канкрэтызаваную формулу будовы ў сімвалічных назвах першасных падсістэм.

*Заўвага.* У формулах будовы, якія прыведзены ў табліцы 12.1 (гл. с. 39), назвы элементаў характарызуюць узровень адпаведных падсістэм: базісныя, прамежныя, надбудаваныя. Але яны не ўтрымліваюць іншай інфармацыі па ўтвараемай сістэме: у іх адсутнічаюць звесткі аб тыпах першасных сістэм і нумары стрыжняў. Таму ўзнікае неабходнасць у канкрэтызацыі формулы будовы атрыманай сістэмы.

6. Запісаць  $\nu$ -формулу будовы ўтворанай сістэмы.

Указанні:

1. Пры ўтварэнні складанай сістэмы зыходныя сістэмы выкарыстоўваюцца без «дэмантаж» (не дзеляцца на часткі).

2. Дазваляецца змяняць размеры стрыжняў, вуглы іх нахілу і маштаб.

3. У якасці ўнутраных сувязей выкарыстоўваюцца толькі двухвалентныя (пераважна шарніры).

4. Стрыжань, які мае жорсткую замацоўку, уводзіцца ў складаную сістэму ў якасці базіснай падсістэмы.

Разгледзім прыклады выканання задання 2.

### Прыклад 1

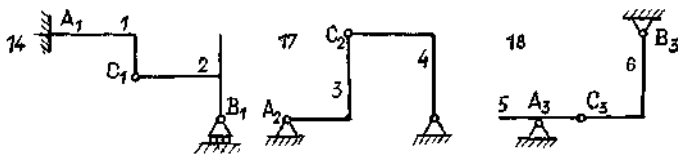
Дадзены сістэмы 14, 17, 18 і формула будовы

$$B \rightarrow Pr_1 \rightarrow N_6 \rightarrow Pr. \quad (12.1)$$

Пабудаваць складаную статычна вызначальную сістэму.

*Рашэнне*

1. Пераносім з рысунка 12.2 дадзеныя сістэмы; вычэрчваем іх у адвольным маштабе (рыс. 12.4). Абзначаем сувязі літарамі  $A_1, B_1, C_1; A_2, B_2, C_2; A_3, B_3, C_3$ .



Рысунак 12.4

2. Аналізуем структуру дадзеных сістэм. Сістэма 14 дзеліцца на дзве першасныя падсістэмы НС1, а сістэмы 17, 18 адносяцца да тыпу НС3 (дзяды). Значыць усе зыходныя сістэмы статычна вызначальныя.

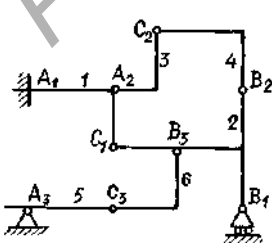
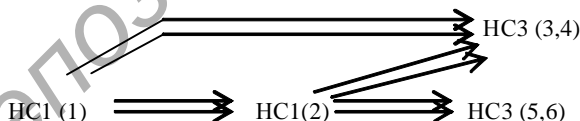
3. Нумаруем стрыжні дадзеных сістэм лічбамі 1, 2, ..., 6.

4. Будзем складаную сістэму, кіруючыся формулай (12.1, гл. с. 40). З формулы відаць, што сістэма ўключае падсістэмы трох узроўняў: адну базісную, дзве прамежныя і адну надбудаваную. Пабудову пачынаем з базіснай падсістэмы. На рысунку 12.4 знаходзім стрыжань 1 з жорсткай замацоўкай. Ён і будзе базіснай падсістэмай. Стыжынь 2, які прымыкае да яе, зручна прыняць у якасці першай прамежнай падсістэмы. Другой прамежнай падсістэмай зробім сістэму 18. Тады надбудаванай будзе сістэма 17. Такім чынам, у якасці элементаў формулы (12.1) прымаем: Б (1), Пр<sub>1</sub> (2), Нб (3, 4), Пр<sub>2</sub> (5, 6). Вычэрчваем складаную сістэму (рыс. 12.5).

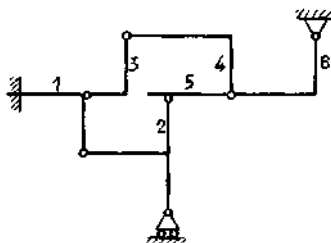
5. Запісваем канкрэтызаваную формулу будовы, уводзячы ў яе назвы першасных падсістэм і нумары стрыжняў:

$$\text{НС1 (1)} \longrightarrow \text{НС1 (2)} \longrightarrow \text{НС3 (3,4)} \longrightarrow \text{НС3 (5,6)}.$$

6. Запісваем v-формулу будовы атрыманай складанай сістэмы:

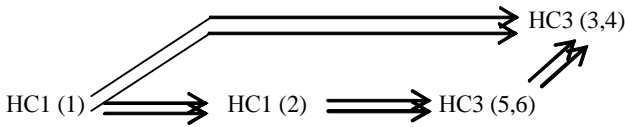


Рысунак 12.5



Рысунак 12.6

**Заўвага.** На рысунку 12.6 прадстаўлены іншы варыянт складанай сістэмы, што адпавядае формуле (12.1). Яе формула будовы мае выгляд:



### Прыклад 2

Дадзены сістэмы 19, 26, 29 і наступная формула будовы:

$$B_1 \longrightarrow \text{Пр} \longrightarrow B_2 \longrightarrow \text{Пр}_2 \longrightarrow \text{Нб}$$

Пабудаваць складаную статычна вызначальную сістэму.

#### Раішэнне

1. Пераносім з рысункаў 12.2, 12.3 дадзеныя сістэмы; вычэрчваем іх у адвольным маштабе (рыс. 12. 7). Абазначаем сувязі літарамі  $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2$ , і  $A_3, B_3, C_3$ .

2. Аналізуем структуру дадзеных сістэм. Сістэмы 19, 29 дзеляцца на дзве першасныя падсістэмы тыпу HC1, а сістэма 16 уяўляе адну першасную сістэму HC3 (дыяду). Прыходзім да высновы, што ўсе зыходныя сістэмы статычна вызначальныя.

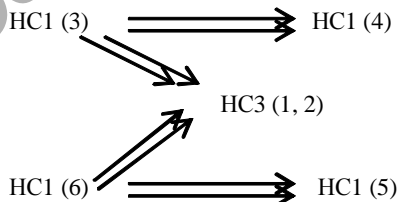
3. Нумаруем стрыжні дадзеных сістэм лічбамі 1, 2, ..., 6.

4. Будзем складаную сістэму, кіруючыся формулай будовы (12.2). У якасці элементаў гэтай формулы прымаем:  $B_1$  (3),  $B_2$  (6),  $\text{Пр}_1$  (4),  $\text{Пр}_2$  (5), Нб (1, 2). Вычэрчваем складаную сістэму (рыс. 12.8).

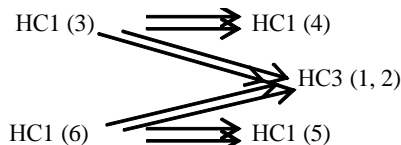
5. Запісваем канкрэтызаваную формулу будовы з назвамі першасных падсістэм і нумарамі стрыжняў:

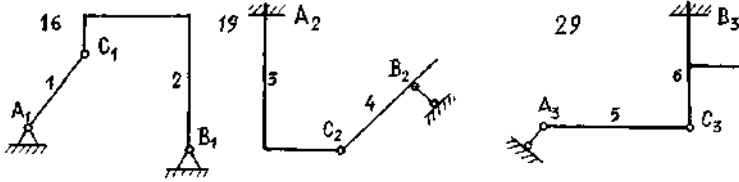
$$\text{HC 1(3)} \longrightarrow \text{HC1 (4)} \longrightarrow \text{HC1 (6)} \longrightarrow \text{HC1 (5)} \longrightarrow \text{HC3 (1, 2)}.$$

Запісваем  $\nu$ -формулу будовы складанай сістэмы:

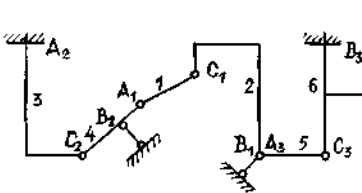


Іншы варыянт складанай сістэмы, утворанай па формуле (12.2), паказаны на рысунку 12.9. Ніжэй запісана адпаведная ёй  $\nu$ -формула будовы.

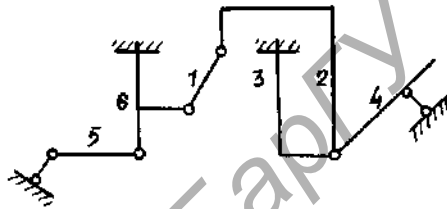




Рисунак 12.7



Рисунак 12.8



Рисунак 12.9

### 13 ПРЫКЛАДЫ АНАЛІЗУ СКЛАДАНЫХ МЕХАΝІЧНЫХ СІСТЭМ

#### ЗАДАННЕ 3

Паслядоўнасць аналізу складаных механічных сістэм апісана ў п. 8. Ніжэй гэтае пытанне разгледжана больш падрабязна і выкладзена метадыка выканання задання 3 на аналіз складаных механічных сістэм.

У заданні 3 дадзена складаная механічная сістэма. Неабходна прарвесці аналіз яе структуры і запісаць вынік у выглядзе  $\nu$ -формулы будовы.

Заданне неабходна выконваць у наступнай паслядоўнасці:

1. Перанесці ў шытак зададзеную сістэму. Абазначыць вялікімі літарамі лацінскага алфавіту спачатку знешнія, а потым унутраныя сувязі; напісаць іх назвы. У выпадку, калі знешняй сувяззю з'яўляецца стрыжань з двума шарнірамі на канцах, то абазначаецца толькі шарнір, прымацаваны да сістэмы.

2. Пранумараваць усе стрыжні (акрамя сувязей), што ўтвараюць сістэму.

3. Уважліва вывучыць зададзеную сістэму, уяўна падзяліць яе на падсістэмы, вызначаючы адначасова іх узровень і тып.

4. Начарціць паасобку ўсе падсістэмы, захваўшы нумары стрыжняў, і апісаць іх, гэта значыць указаць узровень і тып.

5. Напісаць формулу будовы ва ўзроўнях падсістэм і  $v$ -формулу будовы.

Механічныя сістэмы ўзяць з рысункаў 13.1—13.6. Варыянт задання выбіраецца па нумару студэнтаў у спісе групы альбо вызначаецца выкладчыкам. Разгледзім прыклады выканання.

### Прыклад 1

Дадзена складаная механічная сістэма (рыс. 13.7). Правесці аналіз яе структуры і запісаць  $v$ -формулу будовы.

#### Раішэнне

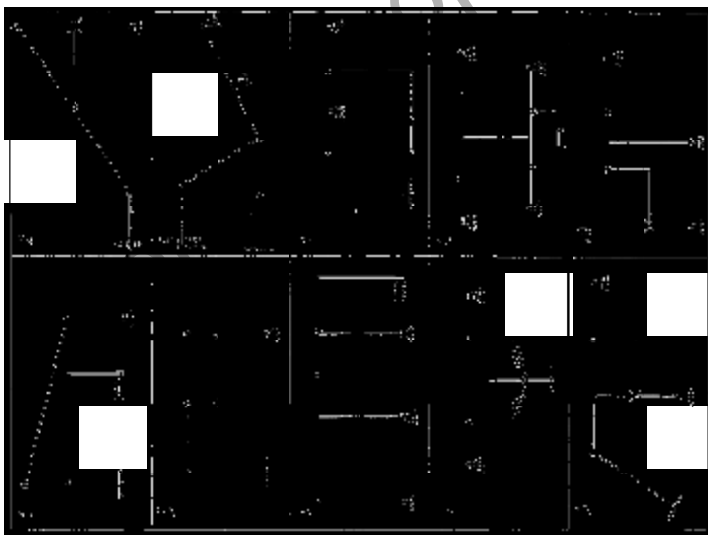
1. Абазначаем знешнія сувязі літарамі  $A, B, C, D, E$ , унутраныя — літарамі  $F, K, L$ . Іх назвы змяшчаем у табліцу 13.1.

2. Нумаруем усе стрыжні лічбамі 1—5.

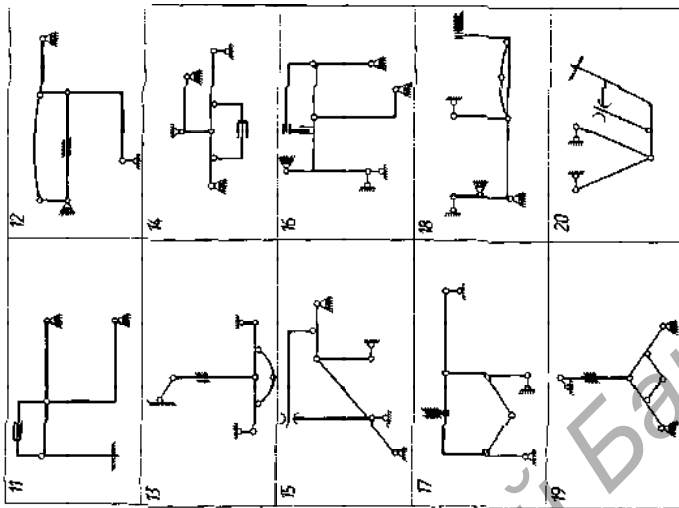
3. Перад вывучэннем структуры зададзенай сістэмы вернемся да аналізу сістэмы, што была разгледжана ў п. 8 (гл. рыс. 8.1, с. 26). І ў тым жа парадку будзем аналізаваць дадзеную сістэму. У некагорых выпадках можна хутчэй вывучыць будову сістэмы, калі рухацца ў адваротнай паслядоўнасці, гэта значыць пачынаць з сінтэза. У прыкладзе на рысунку 13.7 (гл. с. 48) знаходзім цэла 5, на якое накладзены тры знешнія сувязі  $C, D, E$ . Па азначэнні яно будзе базіснай падсістэмай тыпу HC1. На ломаны стрыжань 5 у пункце  $F$  абапіраюцца стрыжні 1 і 4 са знешнімі сувязямі  $A$  і  $B$ . Значыць, яны ўяўляюць прамежныя падсістэмы таго ж тыпу. Застаецца надбудаваць дыяда  $D(2, 3)$ , утвораная стрыжнямі 2, 3. У пункце  $F$  яна злучана з базіснай падсістэмай, а ў пункце  $L$  — з прамежнай HC1 (1). Такім чынам, устаноўлены ўсе структурныя элементы статычна вызначальнай сістэмы. У гэтым заключаецца аналіз складаных сістэм.

Т а б л і ц а 13.1

Апісанне сувязей				Структурныя элементы (падсістэмы)	
знешнія		унутраныя		узровень падсістэмы	тып першасных сістэм
абазначэнні	назва	абазначэнні	назва		
A	Замацоўка з падвойным слізганнем	L, F	Цыліндрычны шарнір	Б (5)	HC1 (5)
B, C, D	Ненагружаны стрыжань	K	Злучэнне са слізганнем	Пр <sub>1</sub> (1)	HC1 (1)
E	Рухомы шарнір	—	—	Пр <sub>2</sub> (4)	HC1 (4)
—	—	—	—	НБ (2, 3)	HC3 (2, 3)



Рисунак 13.1



Рисунак 13.2

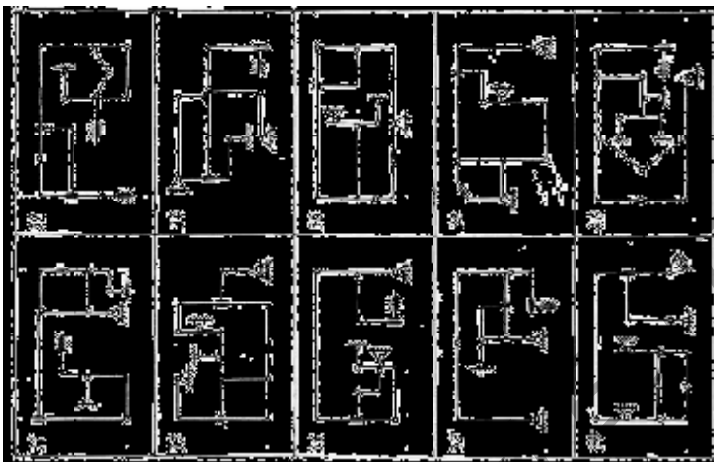


Рисунок 13.4

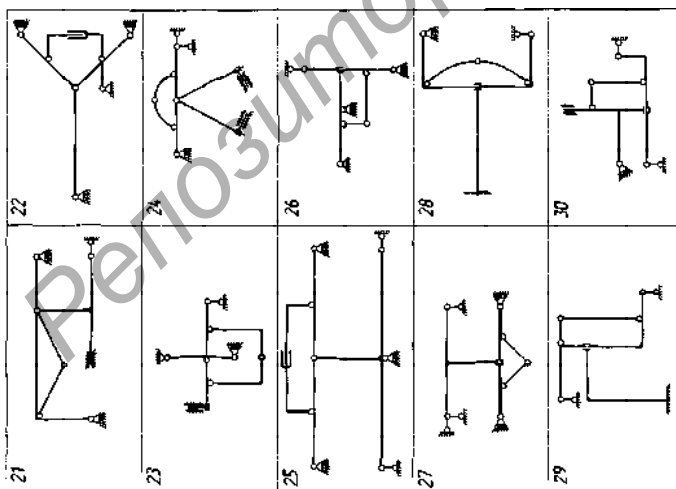


Рисунок 13.3

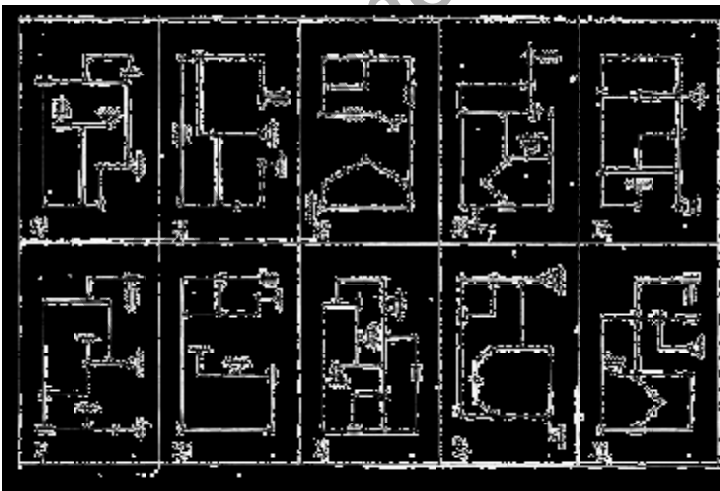


Рисунок 13.5

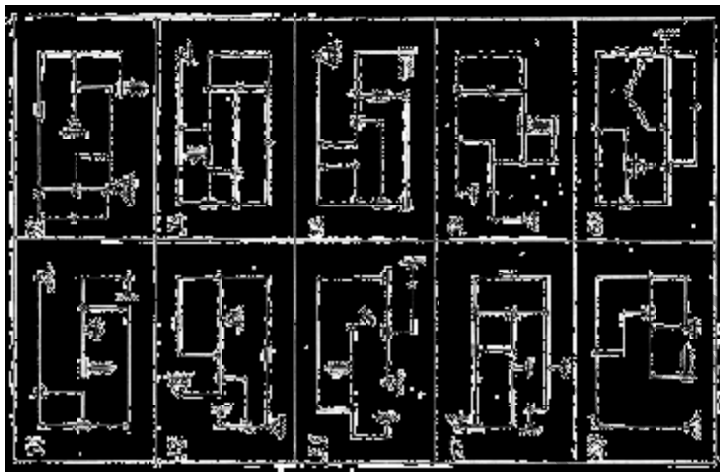
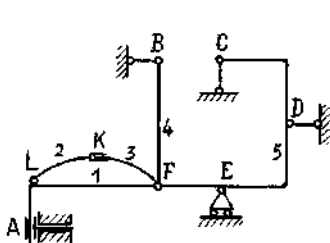
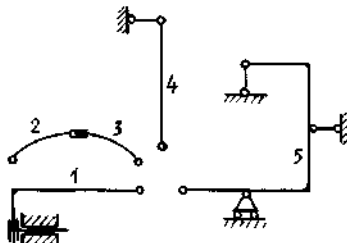


Рисунок 13.6



Рысунак 13.7



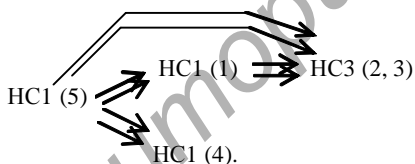
Рысунак 13.8

4. Вычэрчваем падсістэмы (рыс. 13.8). Інфармацыю аб іх узроўнях і тыпах заносім у табліцу 13.2.

5. Запісваем два варыянты формулы будовы ва ўзроўнях падсістэм і  $v$ -формулу. Мантаж падсістэм, абзначэнні якіх у формуле будовы ўзяты ў квадратныя дужкі, можа весціся адначасова.

$$B(5) \longrightarrow [PP_1(1), Pr_2(4)] \longrightarrow H_6(2, 3);$$

$$B(5) \longrightarrow Pr_1(1) \longrightarrow [H_6(2, 3), Pr_2(4)];$$

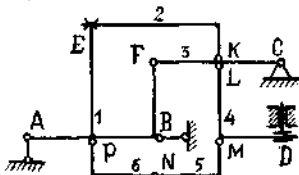


### Прыклад 2

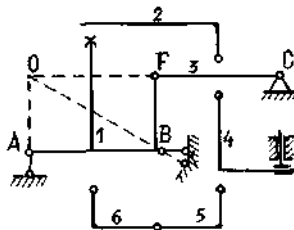
Дадзена складаная механічная сістэма (рыс. 13.9). Правесці аналіз яе структуры і запісаць  $v$ -формулу будовы.

#### Раішэнне

1. Абзначаем знешнія сувязі літарамі  $A, B, C, D$ , унутраныя — літарамі  $E, F, K, L, M, N, P$ . Іх назвы змяшчаем у табліцу 13.3.



Рысунак 13.9



Рысунак 13.10

Таблица 13.2

Апісанне сувязей				Структурныя элементы (падсістэмы)	
знешнія		унутраныя		узровень падсістэмы	тып першасных сістэм
абазначэнні	назва	абазначэнні	назва		
A, B	Ненагружаны стрыжань	E		Б (1, 3)	НС3 (1, 3)
C	Нерухомы шарнір	F, K	Цыліндрычны шарнір	Пр (4)	НС1 (4)
D	Змацоўка з падвойным слізганнем	L, M	Цыліндрычны шарнір	Нб <sub>1</sub> (2,)	НС1 (2)
	—	N, P	Цыліндрычны шарнір	Нб <sub>2</sub> (5, 6)	НС3 (5, 6)

2. Нумаруем усе стрыжні лічбамі 1—6.

3. Вывучым зададзеную механічную сістэму, як у папярэднім прыкладзе.

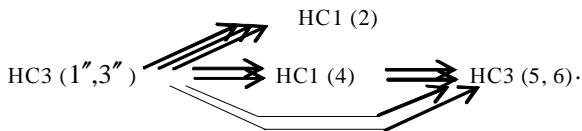
Шукаем базісную падсістэму. Звяртаем увагу на стрыжні са знешнімі сувязямі. Аднаго цела з трохвалентнай сістэмай знешніх сувязей не знаходзім. Робім спробу адшукаць дыяду. Заўважаем два звязаных шарніраў  $F$  целы 1 і 3. На кожнае з іх накладзена двухвалентная сістэма сувязей у пунктах  $A, B, C$ . Гэта і будзе базісная дыяда  $D(1, 3)$ . Знаходзім далучаную да яе ў пункце  $L$  прамежную падсістэму  $Pr(4)$ . Завяршаем аналіз выяўленнем надбудаваных падсістэм —  $Hb_1(2)$ ,  $Hb_2(5, 6)$ .

4. Вычэрчваем падсістэмы (рыс. 13.10). Інфармацыю аб іх узроўнях і тыпах уносім у табліцу 13.4.

5. Запісваем два варыянты формулы будовы ва ўзроўнях падсістэм і  $v$ -формулу будовы. У квадратныя дужкі заключаем абазначэнні падсістэм, мантаж якіх можа весціся адначасова.

$$B(1, 3) \longrightarrow Pr(4) \longrightarrow Hb_1(2), Hb_2(5, 6);$$

$$B(1, 3) \longrightarrow [Hb_1(2), Pr(4)] \longrightarrow Hb_2(5, 6);$$



## 14 СІНТЭЗ СКЛАДАНАЙ МЕХАНІЧНАЙ СІСТЭМЫ ПА ЗАДАДЗЕНАЙ $v$ -ФОРМУЛЕ БУДОВЫ

### ЗАДААННЕ 4

У п. 12 для сінтэзу механічнай сістэмы задаваліся яе часткі і формула будовы ва ўзроўнях падсістэм. Такая дастаткова канкрэтная інфармацыя аб утвараемай сістэме палягчала працэс яе сінтэзу і абмяжоўвала колькасць геаметрычных варыянтаў сістэмы. Заданне 4 адкрывае больш шырокую прастору для творчай фантазіі і канструктарскай вынаходлівасці. Узровень падсістэм не задаецца; яго неабходна вызначыць з  $v$ -формулы будовы па валентнасці іх унутраных сувязей. Адсутнасць абмежаванняў па геаметрыі падсістэм дае магчымасць генерыраваць безліч геаметрычных форм, адпавядаючых  $v$ -формуле будовы.

У заданні 4 дадзены:  $v$ -формула будовы складанай сістэмы, пералік відаў знешніх сувязей, віды ўнутраных сувязей дэяд (Д). Утварыць складаную сістэму. Неабходную інфармацыю аб сістэме ўзяць з табліцы 14.1. Нумар варыянта роўны парадкаваму нумару студэнта ў спісе групы.

Парадак выканання задання наступны:

1. Перанесці ў сшытак з табліцы 14.1 зададзеную інфармацыю аб складанай сістэме. Нумарацыя сувязей у графе «Віды сувязей» адпавядае табліцы 3.1. У графе «Д» змешчаны нумары ўнутраных сувязей дэяд. Пры пабудове сістэмы кожны дадзены від сувязі можа выкарыстоўвацца некалькі разоў.

2. Паўтарыць змест п. 9 «Удакладненне формулы будовы складаных сістэм».

3. Вывучыць зададзеную  $v$ -формулу будовы; для кожнай падсістэмы падлічыць колькасць унутраных і знешніх сувязей і на падставе атрыманай інфармацыі вызначыць узровень кожнай падсістэмы.

4. Зрабіць эскіз (накід) зададзеных падсістэм паасобку. Пачынаць накід з базісных падсістэм (у  $v$ -формуле яны злева), замацаваўшы іх на жорсткай аснове. Вышэй над імі змясціць падсістэмы, якія ў формуле знаходзяцца побач з базіснымі. На самым версе будуць падсістэмы, што адпавядаюць крайнім правым элементам  $v$ -формулы будовы. Правырыць, ці правільна паказаны на эскізе дадзеныя сувязі. Эскіз выконваецца на чарнавіку і ў рашэнні яго можна не прыводзіць.

5. Пры дапамозе ўнутраных сувязей злучыць падсістэмы ў той паслядоўнасці, якая вызначана  $v$ -формулай будовы. Атрымаецца патрэбная складаная статычна вызначальная сістэма.

6. Пранумараваць усе стрыжні атрыманай сістэмы і напісаць для яе канкрэтызаваную формулу будовы ва ўзроўнях падсістэм з нумарамі стрыжняў.

### Прыклад 1

Дадзены віды знешніх сувязей 5, 6, 9, унутраная сувязь дыяды 7 і  $\nu$ -формула будовы:

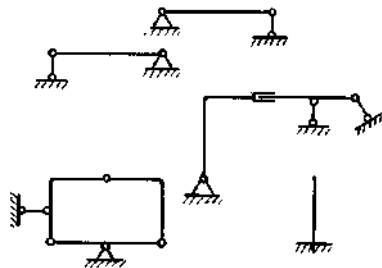


Пабудаваць складаную сістэму.

### Раішэнне

1. Вызначаем узроўні падсістэм. Для гэтага аналізуем формулу (14.1). У ёй злева ў фігурных дужках змешчаны базісныя падсістэмы HC2, HC1. Кожная з іх мае трохвалентную сістэму знешніх сувязей. Улічваем, што падсістэма HC2 складаецца з трох целаў і што ўсе сувязі нельга накладваць на адно цела. Застаюцца два варыянты замацавання гэтай падсістэмы: або з дапамогай трох простых сувязей 6, накладзеных на два ці тры стрыжні, або з дапамогай двух сувязей 5, 6, накладзеных на два стрыжні. Спынімся на апошнім варыянце. Другую базісную падсістэму замацуем пры дапамозе трохвалентнай сувязі 9. Звяртаемся зноў да формулы (14.1). Справа ад базісных падсістэм знаходзіцца дыяда HC3 з чатырхвалентнай сістэмай знешніх сувязей. У формуле 14.1 да яе накіраваны тры стрэлкі. Значыць, тры яе сувязі (у пераліку на простыя) у ствараемай сістэме становяцца ўнутранымі; знешняй застаецца адна простая сувязь. Прыходзім да высновы, што HC3 — прамежная падсістэма. Яе ўласная ўнутраная сувязь 7, якая злучае два целы, вызначана ва ўмове задання. Апошнімі ў формуле (14.1) запісаны дзве падсістэмы. Да верхняй накіраваны дзве стрэлкі, значыць, трэцяя яе сувязь знешняя, а падсістэма прамежная. У ніжняй падсістэме ўсе сувязі ўнутраныя, яна надбудаваная.

2. Вызначыўшы ўзроўні падсістэм, робім іх эскіз (рыс. 14.1). Пры гэтым кіруемся прыведзенымі тут рэкамендацыямі да выканання задання 4. Для эскіза прымаем самыя простыя геаметрычныя формы падсістэм, а пры ўсталяванні сувязей пастаянна звяртаемся да формулы (14.1). Напрыклад, вядома, што для замацавання любой дыяды дастаткова выкарыстаць дзве двухвалентныя сувязі. Але ў нашым прыкладзе ў формуле (14.1) паказана, што дыяда HC3 злучаецца з трыма рознымі аб'ектамі: падсістэмамі HC1, HC2 і жорсткай асновай. Для гэтага патрэбна не меней, чым тры сувязі. Адно яе частку неабходна



Рысунак 14.1

далучыць да падсістэмы НС2 двухвалентнай сувяззю. Тады другая частка (гл. рыс. 14.1, в правая), згодна v-формуле будовы павінна быць абсталявана дзвюма простымі сувязямі, каб была магчымаць далучыць яе да базіснай падсістэмы НС1 і жорсткай асновы.

3. Будуем складаную сістэму (рыс. 14.2). Каб злучыць падсістэмы, даводзіцца змяняць тэя размеры і форму асобых стрыжняў, што паказаны на эскізе, рабіць іх разгалінаванні. Аднавалентныя сувязі 6, якія ў складанай сістэме становяцца ўнутранымі, абазначаем дужкамі. Надбудаваная падсістэма НС1 змешчана ўнутры складанай сістэмы; так прасцей забяспечыць яе кантакт з дзвядц НС3 і базіснай падсістэмай НС1.

4. Нумаруем стрыжні атрыманай сістэмы і запісваем канкрэтызаваную формулу будовы ва ўзроўнях падсістэм:

$$[Б (1-3), Б (4)] \longrightarrow Пр (5, 6) \longrightarrow [Нб (7), Пр (8)].$$

У квадратныя дужкі ўзяты падсістэмы, мантаж якіх можа весціся адначасова.

### Прыклад 2

Дадзены знешнія сувязі 5, 6, 8, унутраныя сувязі дзвядц 5, 7 і наступная v-формула будовы:



Пабудаваць складаную сістэму.

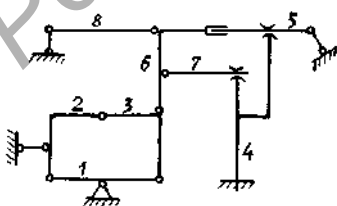
#### Раішэнне

1. Аналізуючы формулу (14.2), вызначаем узроўні падсістэм: левая ў формуле падсістэма НС3 — базісная, НС2, НС1 — прамежны з адной знешняй сувяззю, НС3 — надбудаваная. Эскіз падсістэм не прыводзім.

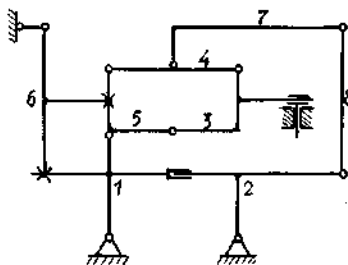
2. Будуем складаную сістэму (рыс.14.3).

3. Нумаруем стрыжні і запісваем канкрэтызаваную формулу будовы ва ўзроўнях падсістэм:

$$Б (1, 2) \longrightarrow Пр (3 - 5) \longrightarrow [Пр (6), Нб (7, 8)].$$



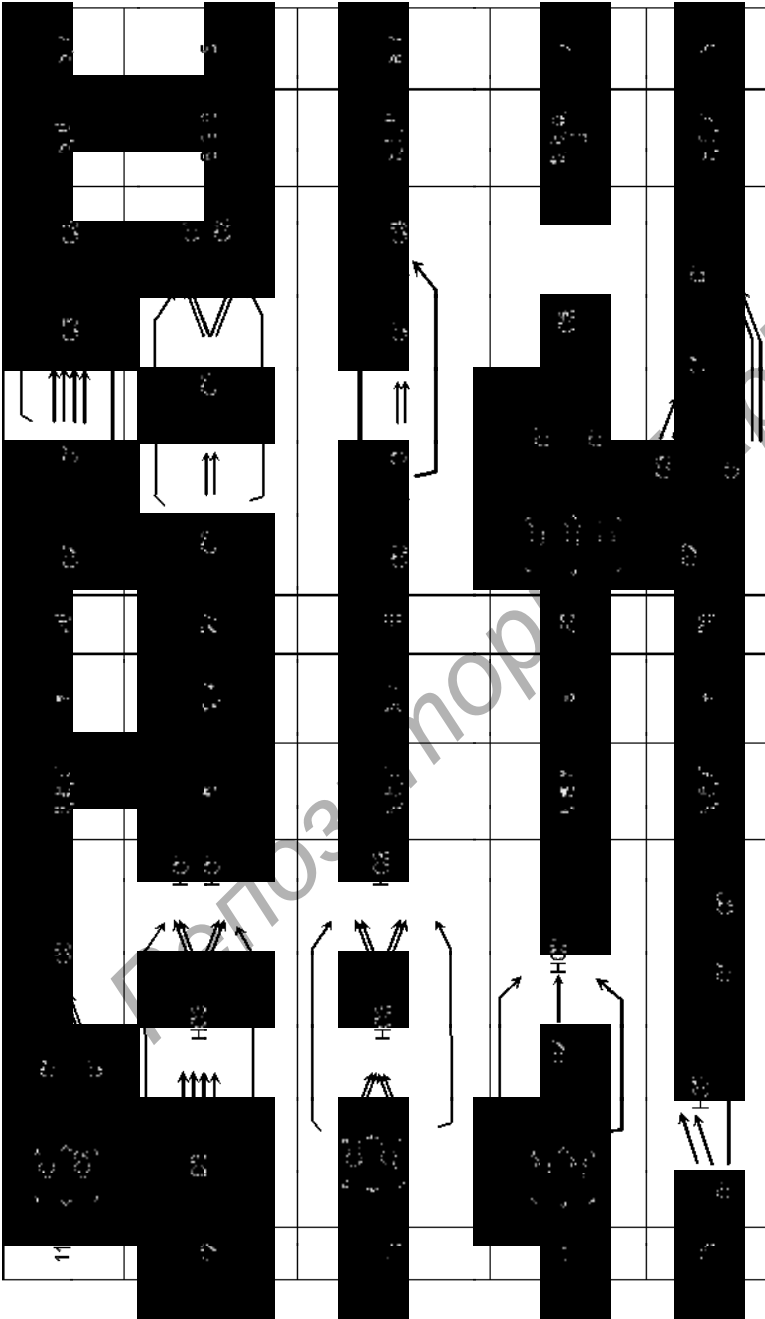
Рысунак 14.2



Рысунак 14.3

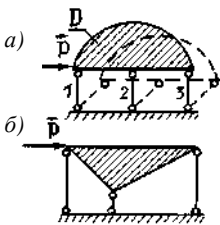






## 15 ПАНЯЦЦЕ АБ ІМГНЕННА-ЗМЕННЫХ СІСТЭМАХ

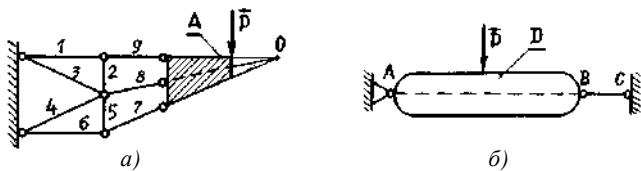
Як адзначалася раней, у працэсе сінтэзу складаных сістэм новыя структурныя элементы ўводзяцца ў ствараемую сістэму пры дапамозе трох-або чатырохвалентнай сістэмы сувязей. Аднак наяўнасць неабходнай валентнасці не заўжды забяспечвае нязменнасць і статычную вызначальнасць сістэмы. Заўважана, што калі лініі ўзаемадзеяння сувязей з матэрыяльным аб'ектам паралельны паміж сабою або перасякаюцца ў адным пункце, то сістэме (або яе структурнаму элементу) уласціва так званая *імгненная зменнасць*. Гэтая адмоўная якасць сістэм выключае іх выкарыстанне ў тэхніцы, таму што пры нагружэнні рэ-



Рысунк 15.1

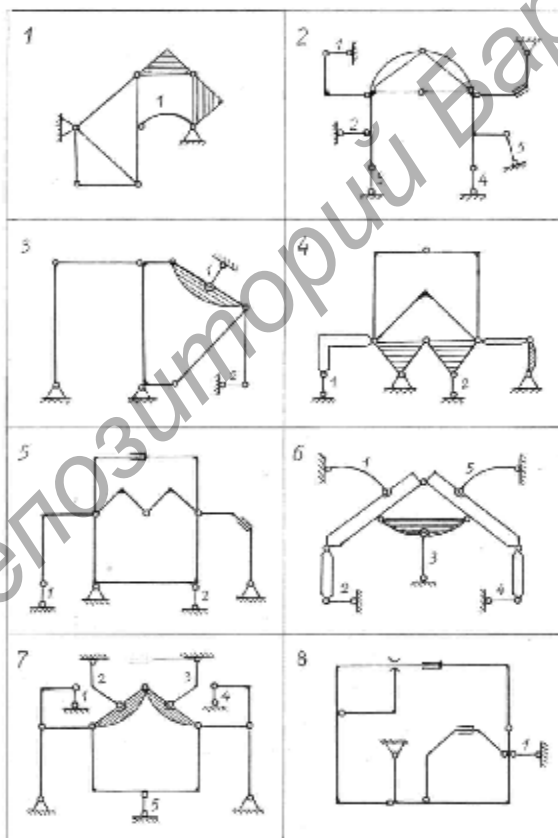
акцыі сувязей дасягаюць вялікіх значэнняў і ствараюць пагрозу разбурэння канструкцыі. Разгледзім прыклады імгненна зменных сістэм. На рысунку 15.1, *а* паказана першасная сістэма НС1. Усе яе сувязі — стрыжні 1, 2, 3 — паралельныя паміж сабою і не дапускаюць перамяшчэння цэла  $D$  у вертыкальным напрамку, але зусім не супрацьдзейнічаюць гарызантальнай сіле  $\vec{P}$ . І хоць колькасць сувязей роўна тром, механічная сістэма зменная. Аналіз падобнай першаснай сістэмы, прадстаўленай на рысунку 15.1, *б* прыводзіць да аналагічнай высновы. Але, у адрозненне ад папярэдняй, сувязі гэтай сістэмы здольны, хоць і не эфектыўна, аказаць супраціўленне сіле  $\vec{P}$ . Пры гэтым нават невялікая гарызантальная нагрузка ўяўляе пагрозу разбурэння сувязей.

Канструкцыя на рысунку 15.2, *а* ўтворана са складанай дыяды  $D$  (1—3, 4—6) і падсістэмы  $C1$ , у якую ўваходзіць цэла  $A$  з унутранымі сувязямі 7, 8, 9. Асаблівасць гэтай канструкцыі заключаецца ў тым, што лініі ўзаемадзеяння сувязей з цэлам  $A$  перасякаюцца ў адным пункце  $O$ . Раней (у п. 5) было ўстаноўлена, што простыя сувязі, адпавядаючыя такім лініям ўзаемадзеяння, можна замяніць адной двухвалентнай сувяззю — нерухомым шарнірам, змешчаным у пункце  $O$ . Такім чынам тры простыя сувязі 7, 8, 9 эквівалентны адной двухвалентнай сувязі. Але адна такая

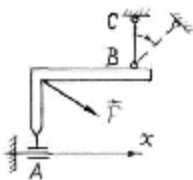


Рисунак 15.2

сувязь не можа ўтрымліваць цела ў раўнавазе. Да гэтага тыпу адносіцца і сістэма НС1, што паказана на рысунку 15.2, б. Тут лініі ўзаемадзеяння перасякаюцца ў пункце *A*. Стрыжань *BC* не можа эфектыўна супрацьдзейнічаць павароту цела *D* вакол пункта *A*.



Рисунак 15.4



Рисунак 15.3

Да імгненна-зменных сістэм належаць таксама трохшарнірныя дзяды і трыяды, у якіх усе шарніры змешчаны на адной прамой. Так, дыяда Д (1, 3) на рысунку 13.7 (гл. с. 48) статычна вызначальная. Калі стрыжань  $B$  павярнуць у палажэнне, паказанае пункцірам, то лініі ўзаемадзеяння стрыжняў  $A$  і  $B$  перасякуцца ў пункце  $O$  — месцы ўсталявання эквівалентнай ім нерухомай апоры; і тады ўсе шарніры  $O, F, C$  дыяды Д (1, 3) апынуцца на адной прамой, а дыяда ператворыцца ў імгненна-зменную. Трохвалентная сістэма сувязей — слізгаючая замацоўка  $A$  і стрыжань  $BC$ , — накладзеныя на цела  $D$  (рыс. 15.3), таксама не здольна ўтрымліваць цела ў раўнавазе, таму што не процідзейнічае яго гарызантальнаму перамяшчэнню. Выправіць сістэму сувязей можна павярнуўшы стрыжань  $BC$  такім чынам (на рысунку паказана пункцірам), каб яго лінія ўзаемадзеяння з целам  $D$  не была перпендыкулярна да напрамку слізгання  $A_x$ .

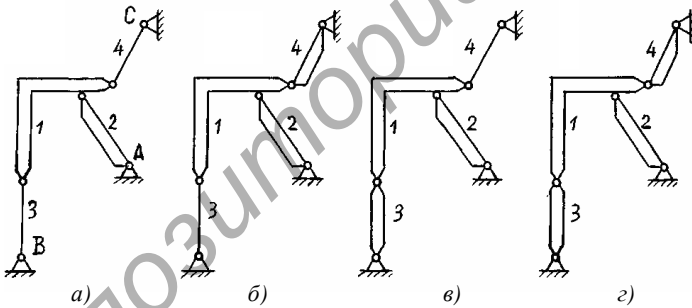
Як бачым, колькасць сувязей не заўжды можа забяспечыць патрэбную якасць канструкцыі. Сістэму сувязей, якая мае неабходную для раўнавагі цела валентнасць, але не забяспечвае яе, будзем называць некарэктнай. Некарэктная сістэма сувязей, як паказана ў прыведзеных прыкладах, можа быць як знешняй, так і ўнутранай.

## П

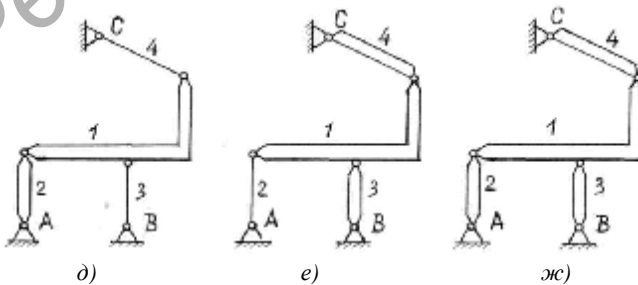
1. У якіх выпадках механічныя сістэмы з'яўляюцца імгненна-зменлівымі? Чаму гэтую якасць сістэм лічаць негатыўнай?
2. Як даказваецца імгненная зменлівасць канструкцыі, паказанай на рысунку 15.2,  $a$ ?
3. Якую сістэму сувязей называюць некарэктнай?
4. Уважліва разгледзьце імгненна-зменлівыя механічныя сістэмы, паказаныя на рысунку 15.4. Устанавіце прычыны імгненнай зменлівасці сістэм і прапануйце спосаб, як пазбегнуць.

## 16 ПРЫНЦЫП ЗАМЯШЧЭННЯ СУВ'ЯЗЕЙ-СТРЫЖНЯЎ ЦЕЛАМІ

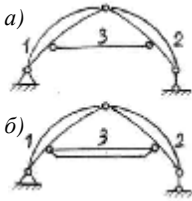
Пасля вывучэння структуры складаных механічных сістэм і выканання заданняў на аналіз і сінтэз, вы цвёрда засвоілі прыкмету найбольш распаўсюджаных статычна вызначальных сістэм: калі складаная механічная сістэма дзеліцца на першасныя падсістэмы, то яна статычна вызначальная. А калі не дзеліцца? Ці можна адназначна сцвярджаць, што ў гэтым выпадку сістэма статычна невызначальная або зменная? Нельга. Існуюць складаныя механічныя сістэмы, якія не распадаюцца на першасныя падсістэмы, але з'яўляюцца статычна вызначальнымі. Выкарыстоўваючы матэматычную тэрміналогію, можна сказаць: дзяленне складаных сістэм на ўведзеныя ў п. 6 першасныя падсістэмы з'яўляецца дастатковай умовай іх статычнай вызначальнасці, але не заўжды неабходнай.



Рысунак 16.1



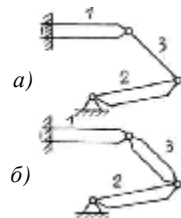
Рысунак 16.2



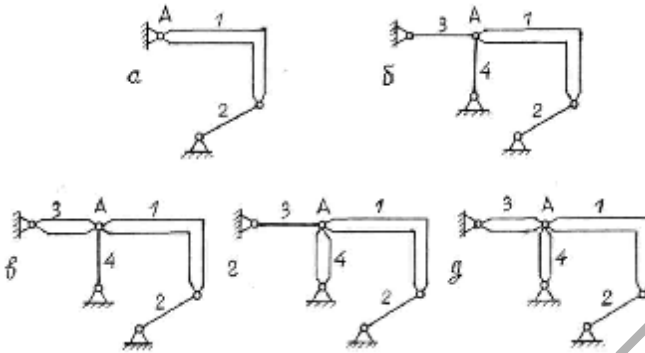
Рисунак 16.3

Далей спынімся на несвабодных механічных сістэмах і ўста-новім для іх дадатковыя прыкметы статычнай вызначальнасці. Звернемся да несвабодных першасных сістэм. На рысунку 16.1, *a* паказана сістэма НС1. Яна складаецца з цела 1 і сувязей-стрыжняў 2, 3, 4. Даследуем, як змяняцца якасці сістэм, калі адзін са стрыжняў замяніць цэлам. На рысунках 16.1, *б*, *в*, *г* замененыя сувязі паказаны дзвюма лініямі. Лёгка заўважыць, што ва ўсіх трох варыянтах першасная сістэма НС1 ператвараецца ў дзяду — Д (1, 2), Д (1, 3), Д (1, 4). Як бачым, утворэння такім чынам сістэмы застаюцца статычна вызначальнымі. Статычная вызначальнасць захоўваецца і пры замене двух або ўсіх трох стрыжняў (рыс. 16.2, *д*, *е*). На рысунку 16.2 такая трансфармацыя сувязей у цэлы праведзена для дзяды Д (1, 2); у выніку атрыманы тры новыя статычна вызначальныя сістэмы. У прыведзеных прыкладах мы замянілі цэламі знешнія аднавалентныя сувязі. Высвятлім, як уплывае на ўласцівасць сістэмы замена яе ўнутраных сувязей. Разгледзім дзяду НС4 (1, 2) (рыс. 16.3, *a*). Заменім у ёй цэлам сувязь 3 (рыс. 16.3, *б*). Зноў жа атрымліваем статычна вызначальную першасную сістэму НС2 (1, 2, 3). Даследуем складаную сістэму, паказаную на рысунку 16.4, *a*. Яна дзеліцца на падсістэмы НС1 (1), НС1 (2). Калі заменім у ёй унутраную сувязь 3 стрыжнем, то атрымаем новую складаную статычна вызначальную сістэму, утвораную падсістэмамі НС (1), НС3 (2, 3).

Разгледжаны вышэй шэраг прыкладаў дазваляе зрабіць наступную выснову: калі ў статычна вызначальнай механічнай сістэме некаторыя або ўсе сувязі-стрыжні замяніць цэламі, то атрыманая сістэма застанеца статычна вызначальнай. Такі спосаб утварэння статычна вызначальных сістэм назавём прынцыпам замяшчэння стрыжняў цэламі альбо скарачана — прынцыпам замяшчэння. Ці пашырае разгледжаны прынцып магчымасці адрознення (аналізу) і сінтэзу статычна вызначальных сістэм? Сапраўды, статычную вызначальнасць утвораных з дапамогай прынцыпа замяшчэння сістэм, паказаных на рысунках 16.1, *б*, *в*, *г*; 16.3, *б*; 16.4, *б*, мы ўстанавілі шляхам дзялення іх на вядомыя першасныя падсістэмы. Усе ж астатнія сістэмы (рыс. 16.2, *д*, *е*; 16.1, *б*, *в*, *г*) не распадаюцца на першасныя. Вось тут і прыходзіць на дапамогу прынцып



Рисунак 16.4



Рисунак 16.5

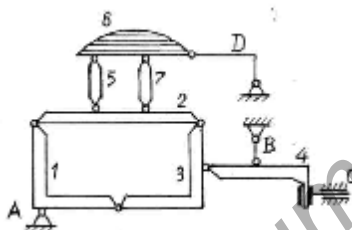
замяшчэння. Паколькі згаданыя сістэмы могуць быць атрыманы са статычна вызначальных з дапамогай прынцыпа замяшчэння, то яны таксама статычна вызначальныя.

У далейшым целы, якія ўмоўна разглядаюцца ў працэсах аналізу і сінтэзу сістэм як сувязі, будзем для кароткасці называць *с-цэламі* (гэта значыць, *сувязямі-цэламі*). Ва ўсіх прыкладах на рысунках 16.1, 16.2, 16.3 (гл. с. 59—60) пасля замены стрыжняў знешнімі сувязямі с-цел заставаліся нерухомыя цыліндрычныя шарніры. Прынцып замяшчэння не парушыцца, калі гэтыя шарніры замяніць іншымі двухвалентнымі сістэмамі сувязей: двума стрыжнямі, слізгаючай замацоўкай і г. д. У прыведзенай вышэй фармулёўцы прынцыпа замяшчэння мова ідзе аб замене аднавалентных сувязей-стрыжняў. Але прынцып можна пашырыць і на двухвалентныя нерухомыя цыліндрычныя шарніры, спачатку замяніўшы іх стрыжнямі. У якасці прыклада на рысунку 16.5 паказаны магчымыя варыянты замены с-цэламі шарніра *A* ў першаснай сістэме НС1 (1). Аналіз атрыманых з яе сістэм паказвае, што ўсе яны статычна вызначальныя. Так, на рысунках 16.5, *в*, *г* сістэмы распадаюцца адпаведна на падсістэмы НС1 (3) (базісная), НС1 (1) (прамежная) і НС1 (4) (базісная), НС1 (1) (прамежная). На рысунку 16.5, *д* замест шарніра *A* атрымана базісная дыяда Д (3, 4), што дазваляе зрабіць агульную выснову: у выніку поўнага замяшчэння знешняга нерухомага цыліндрычнага шарніра с-цэламі атрымліваецца дыяда. Відавочна, што працэс утварэння новых статычна вызначальных сістэм можна працягваць да бясконцасці. Так у атрыманай механічнай сістэме (гл. рыс. 16.5, *д*) нерухомыя шарніры *B*, *C* можна зноў замяніць дыядамі.

1. Ці з'яўляецца дзяленне складанай сістэмы на першасныя сістэмы неабходнай умовай іх статычнай вызначальнасці?
2. У чым заключаецца прынцып замяшчэння і для чаго ён прымяняецца?
3. Што называецца с-целам?
4. Як прымяняецца прынцып замяшчэння для двухвалентных сувязей? Да якой першаснай сістэмы прыводзіць іх замяшчэнне?

## 17 ПРЫМЯНЕННЕ ПРЫНЦЫПА ЗАМЯШЧЭННЯ ДЛЯ АНАЛІЗА СКЛАДАНЫХ СІСТЭМ. НОВЫЯ ПЕРШАСНЫЯ СІСТЭМЫ

Як было паказана ў п. 16, прымяненне прынцыпа замяшчэння значна пашырае магчымасці сінтэзу новых статычна вызначальных сістэм. Цяпер прыменім гэты прынцып для аналізу складаных сістэм. Яго



Рысунак 17.1

парадак апісаны ў п.п. 8, 11, 13: спачатку знаходзім надбудаваныя падсістэмы, затым прамежныя і базісныя. Устанаўліваем, да якой першаснай сістэмы належыць кожная падсістэма. Калі ж сярод падсістэм сустракаецца структурнае ўтварэнне, адрознае ад усіх вядомых першасных сістэм, то знаходзім у ім с-целы і ўяўна замяняем іх сувязямі-стрыжнямі.

«Рэстаўрыраванае» такім чынам утварэнне павінна ўяўляць сабою адну з вядомых першасных сістэм. Тады яно будзе статычна вызначальным. Такое заключэнне можна зрабіць і аб усёй аналізуемай сістэме, калі ўсе яе падсістэмы статычна вызначальныя.

### Прыклад.

Правесці аналіз і вызначыць уласцівасці складанай механічнай сістэмы, паказанай на рысунку 17.1.

Абазначым лічбамі 1—7 целы, якія ўтвараюць сістэму, літарамі *A*, *B*, *C*, *D* — знешнія сувязі. Аналіз пачынаем з пошуку надбудаваных падсістэм. На перыферыі зададзенай сістэмы не знаходзім цел, якія не мелі б знешніх сувязей — значыць надбудаваных сістэм няма. Шукаем прамежныя падсістэмы.

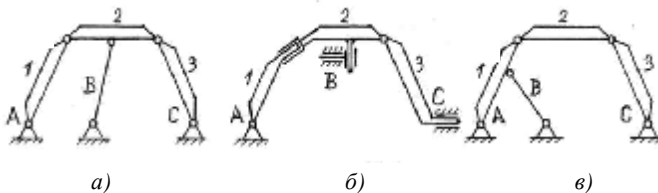
Знешнія сувязі маюць цэлы 4 і 5. Яны блізкія да першаснай сістэмы НС1. Але цэла 4 мае чатырохвалентную сістэму (замест трохвалентнай), таму яго нельга аднесці да згаданай сістэмы. Разгледзім цэла 6. Калі кантактуючыя з ім цэлы 5 і 7 уявіць с-цэламі, тады яно атрымае трохвалентную сістэму сувязей і ператворыцца ў сістэму НС1. Такім чынам, можна лічыць, што сукупнасць трох цел 5, 6, 7 разам з сувяззю *D* атрыманы па прынцыпу замяшчэння з першаснай сістэмы НС1. І таму яна статычна вызначальная. Застаецца жорсткая сістэма трох цел 1, 2, 3 з двухвалентнай сувяззю *A*. Калі цэла 4 улічыць за аднавалентную сувязь для гэтай сукупнасці цел (1, 2, 3), то ў ёй лёгка пазнаць вытворную першасную сістэму НС2. Гэта гарантуе падсістэме статычную вызначальнасць. Формула будовы ўсёй сістэмы ва ўзроўнях падсістэм мае выгляд:

$$БЗ (1, 2, 3, 4) \longrightarrow ПР (5, 6, 7)$$

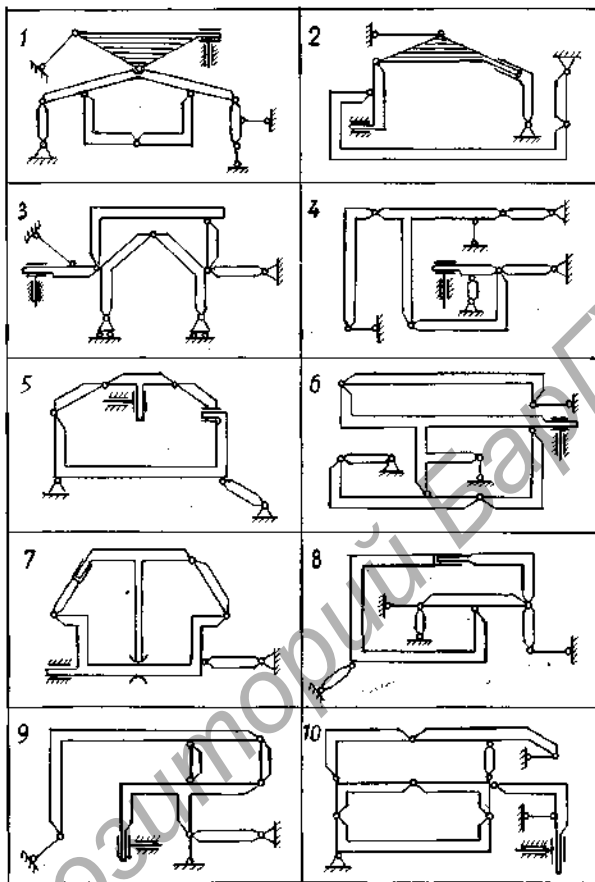
Для пашырэння магчымасцей аналіза і сінтэза статычна вызначальных сістэм тут уведзены прынцып замяшчэння. Гэтай жа мэты можна дасягнуць і шляхам павелічэння колькасці першасных статычна вызначальных сістэм. У якасці прыклада разгледзім новую першасную сістэму (рыс. 17.2, *a*) якая ўяўляе сабою так званы *разамкнуты статычны ланцуг* з трох звенняў 1, 2, 3 і пяцівалентнай сістэмы знешніх сувязей *A, B, C*. Будзем называць яе *разамкнутай трыядай* (у адрозненне ад ужо вядомай *замкнутай*

трыяды НС2) і абазначаць  $НС2'$  альбо Аналіз структуры новай сістэмы (рыс. 17.1), паказвае, што яна не дзеліцца на ўжо вядомыя першасныя сістэмы і па азначэнні можа быць прынята ў якасці самастойнай першаснай статычна вызначальнай сістэмы. Іншы варыянт *разамкнутай трыяды* паказаны на рысунку 17.2, *б*; ён адрозніваецца ад папярэдняга толькі відам сувязей. Звернем увагу на размяшчэнне знешніх сувязей у сістэмах  $НС2'$ : у крайніх звеннях 1, 3 ланцуга яны ўяўляюць двухвалентную сістэму, у сярэдняга 2 — аднавалентную. Іншае размяшчэнне сувязей пазбаўляе сістэму цел 1, 2, 3 уласцівасцей першаснай сістэмы. Калі аднавалентную сувязь накласці на цэла 1 (рыс. 17.2, *в*), то атрымаем складаную сістэму, якая дзеліцца на базісную падсістэму НС1 (1) і прамежную НС3 (2, 3). Утварэння раней сістэмы (гл. рыс. 16.1, *д*; 16.2, *б, в* с. 59) ўяўляюць сабою *разамкнутыя трыяды*  $T'$ .

У якасці першаснай статычна вызначальнай сістэмы можна таксама ўвесці *разамкнуты разгаліваны ланцуг*.



Рысунак 17.2



Рисунак 17.3

П

1. Апішыце паслядоўнасць аналізу складанай сістэмы с прымяненнем прынцыпа замяшчэння.
2. Што ўяўляе сабою разамкнутая трыяда? Як яна абазначаецца?
3. Як накладваюцца сувязі на цэлы, што ўтвараюць разамкнутую трыяду?
4. Правядзіце аналіз складаных сістэм, паказаных на рысунку 17.3; запішыце для іх формулы будовы ва ўзроўнях падсістэм.

## 18 СКЛАДАНЫЯ ЦЕЛЫ

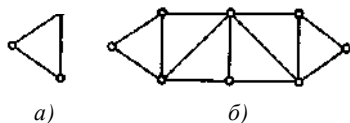
### I СКЛАДАНЫЯ ПЕРШАСНЫЯ СІСТЭМЫ. УТВАРЭННЕ СУПЕРСІСТЭМ

Да гэтага вывучалася будова складаных статычна вызначальных сістэм, утвораных з непадзельных абсалютна жорсткіх цел (стрыжняў). Такія целы далей будзем называць *простымі*. Каб прымяніць разгледжаныя вышэй прыклады ўтварэння складаных сістэм для сінтэзу сістэм больш высокага ўзроўню складанасці (назавём іх *суперсістэмамі*), мэтазгодна ўвесці паняцце аб складаных целах. С к л а д а н ы м целаам будзем называць свабодны нязменны статычна вызначальны матэрыяльны аб'ект, утвораны з простых цел (стрыжняў). Мяркуюцца, што простыя целы злучаюцца паміж сабою з дапамогай унутраных сувязей. Прасцейшым прыкладам складанага цела можа служыць ужо вядомая нам першасная сістэма С2 (гл. с. 19 рыс. 6.1, б), калі ігнараваць яе свабоднымі сувязямі. Названую сістэму можна прадставіць у выглядзе шарнірнага трохвугольніка (рыс. 18.1, а). Калі да яго далучыць некалькі дыяг, то атрымаецца іншае складанае цела, якое называецца *ф е р м а й* (што ў перакладзе на беларускую мову азначае: моцны, жорсткі). На рысунку 18.1, б ферма атрымана шляхам далучэння да шарнірнага трохвугольніка пяці дыяг. Элементамі сінтэзу складаных цел могуць быць не толькі дыяды, але і падсістэмы С1, С2.

Складаныя целы, паказаныя на рысунках 18.1, а, б, называем целаамі *першага ўзроўню* складанасці. Тады простыя целы можна лічыць целаамі *нулявога ўзроўню*. Калі ж у шарнірным трохвугольніку і ферме на прыведзеным рысунку стрыжні зноў замяніць складанымі целаамі, то атрымаем новыя целы *другога ўзроўню* складанасці.

Першасныя свабодныя і несвабодныя сістэмы, разгледжаныя ў п. 6, утвораны з простых цел. Будзем называць іх *простымі першаснымі сістэмамі*. Калі гэтыя целы замяніць складанымі целаамі

першага ўзроўню складанасці, то атрымаем першасныя сістэмы таго ж узроўню. Яны служаць элементамі сінтэзу суперсістэм. Прынцыпы ўтварэння суперсістэм тыя ж, што выкладзены ў п.п. 7, 12, 14.



Рысунак 18.1

Існуюць таксама *камбінаваныя* структуры, утвораныя з простых і складаных падсістэм. Прыкладам такой сістэмы можа служыць канструкцыя, прыведзеная на рысунку 15.2, *a* (гл. с. 57). Яна ўключае складаную дыяду  $D$  (1—3, 4—6) і простую падсістэму  $HC_1$ , якая на рысунку абазначана літарай  $A$ . Камбінаваную дыяду  $D$  (1—3, 4) мы разглядалі ў якасці базіснай падсістэмы на рысунку 17.1.

П

1. Якія цэлы называюцца простымі, складанымі?
2. Як утвараюцца складаныя цэлы?
3. Што ўяўляе сабою ферма? Як можна яе ўтварыць?
4. Апішыце складанне цэла першага ўзроўню складанасці. Чым ад-  
разніваецца ад яго цэла другога ўзроўню складанасці?
5. Што ўяўляе сабою простая першасная сістэма першага ўзроўню  
складанасці?
6. Апішыце камбінаваную механічную структуру?

## Заклучэнне

Мы скончылі знаёмства са структурай плоскіх статычна вызначальных сістэм, якія вывучаюцца ў тэарэтычнай механіцы. Цяпер ведаем, што любая статычна вызначальная сістэма складаецца з невялікай колькасці тыпаў першасных сістэм, якія ўваходзяць у яе ў якасці ўтвараючых падсістэм. І ведаем уласцівасць: статычна вызначальная сістэма ў адрозненне ад зменнай (механізма) знаходзіцца ў раўнавазе пры ўздзеянні адвольных нагрузак. Яна мае мінімальна неабходную для раўнавагі валентнасць сувязей. Пры больш высокай іх валентнасці механічная сістэма становіцца статычна невызначальнай; такія сістэмы вывучаюцца ў іншай дысцыпліне — механіцы матэрыялаў.

Самы прасты статычна вызначальны аб'ект уяўляе цела з накладзенай на яго трохвалентнай карэктнай сістэмай сувязей. Калі сувязі некарэктныя, то сістэма імгненна зменная, гэта значыць мае небяспечны дэфект, які неабходна выправіць.

Нам цяпер вядома, што адна і тая ж механічная сістэма можа быць знешне статычна вызначальнай, а ўнутрана — статычна невызначальнай. І наадварот. Мы пазнаёмліся таксама з абстрактным канструяваннем і «мантажам» сістэм, з прынцыпам утварэння суперсістэм і г. д.

## ЗМЕСТ

Уводзіны .....	3
1 Матэрыяльныя аб'екты, цвёрдыя целы, механічныя сістэмы. Класіфікацыя механічных сістэм .....	5
2 Свабодныя і несвабодныя матэрыяльныя аб'екты. Сувязі і рэакцыі сувязей .....	6
3 Некаторыя віды сувязей і іх рэакцыі. Валентнасць сувязей .....	8
4 Аксіёма аб сувязях. Пераўтварэнне сувязей. Паняцце аб свабодных сувязях .....	13
5 Статычна вызначальныя і статычна невызначальныя сістэмы .....	15
6 Першасныя статычна вызначальныя сістэмы .....	19
7 Утварэнне (сінтэз) складаных механічных сістэм .....	22
8 Аналіз структуры і парадак сілавога разліку складаных сістэм .....	25
9 Удакладненне формулы будовы складаных сістэм .....	27
10 Шматпалётныя статычна вызначальныя бэльнікі .....	29
11 Аналіз структуры шматпалётных бэлек. Заданне 1 .....	33
12 Сінтэз складанай механічнай сістэмы па зададзеных яе частках і формуле будовы. Заданне 2 .....	37
13 Прыклады аналізу складаных механічных сістэм. Заданне 3 .....	43

14 Сінтэз складанай механічнай сістэмы па зададзенай $v$ -формуле будовы. Заданне 4 . . . . .	50
15 Паняцце аб імгненна-зменных сістэмах . . . . .	56
16 Прынцып замяшчэння сувязей-стрыжняў цэламі . . . . .	59
17 Прымяненне прынцыпа замяшчэння для аналізу складаных сістэм. Новыя першасныя сістэмы . . . . .	62
18 Складаныя цэлы і складаныя першасныя сістэмы. Утварэнне суперсістэм . . . . .	65
Заклучэнне . . . . .	67

Репозиторий БарГУ

*Вучэбнае выданне*

**Русан Сяргей Іванавіч**

**СТРУКТУРА ПЛОСКІХ СТАТЫЧНА  
ВЫЗНАЧАЛЬНЫХ МЕХАНІЧНЫХ  
СІСТЭМ**

**Вучэбна-метадычны дапаможнік**

Тэхнічны рэдактар: *І. А. Голуб*  
Камп'ютэрная вёрстка *Ю. В. Хахол*

Адказы за выпуск: *А. Г. Хахол*

Падпісана ў друк 2007  
Фармат 60 × 84 1/16. Папера афсетная.  
Гарнітура Таймс. Аддрукавана на рызографе.  
Ум. друк. арк. 4,10. Ул.-выд. арк. 3,59.  
Заказ 349. Тыраж экз.

ЛВ 02330/0133486 ад 09.02.2005

Выдавец і паліграфічнае выкананне:  
установа адукацыі  
«Баранавіцкі дзяржаўны ўніверсітэт»,  
225404 г. Баранавічы, вул. Войкава, 21

# РЕДАКЦИОННО- ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ БарГУ

- ✓ Учебные пособия
- ✓ Учебно-методические комплексы
- ✓ Методические рекомендации
- ✓ Курсы лекций
- ✓ Монографии
- ✓ Материалы конференций



Репозиторий БарГУ