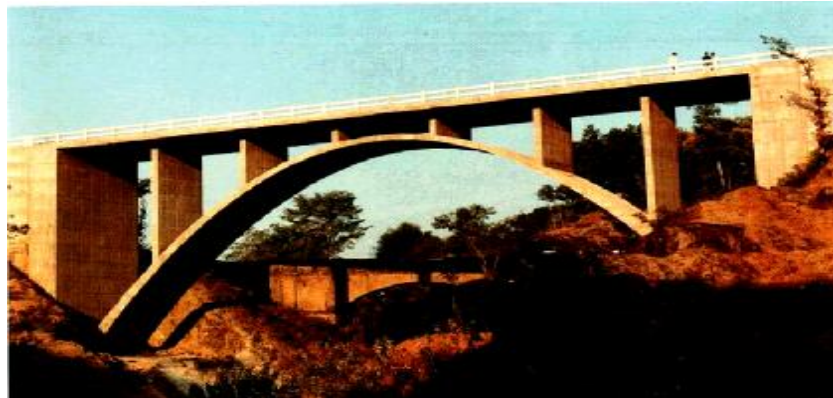


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені Юрія Кондратюка

БУДІВЕЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра будівельної механіки



Методичні вказівки

та контрольні завдання з дисципліни

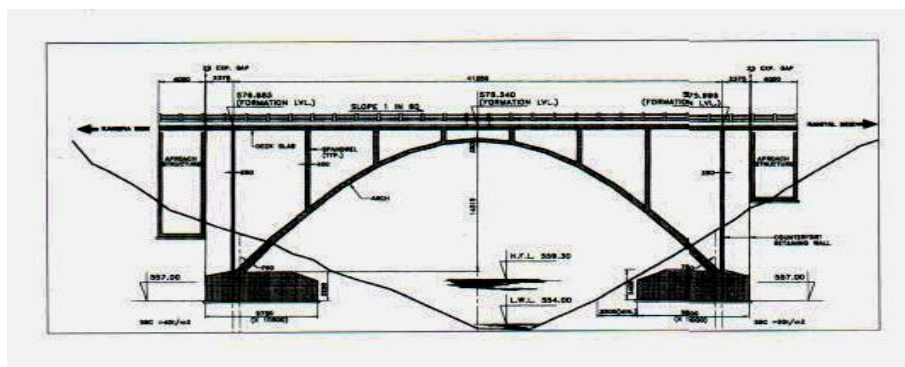
«Будівельна механіка»

для студентів усіх форм навчання.

Напрямок підготовки – 6.060101 «Будівництво»
Освітньо-кваліфікаційний рівень – «Бакалавр»

Частина 1

(статично визначувані системи)



Полтава 2011

Методичні вказівки та контрольні завдання з дисципліни «Будівельна механіка» для студентів усіх форм навчання. Напрямок підготовки – 6.060101 «Будівництво». Освітньо-кваліфікаційний рівень – «Бакалавр». Частина 1 (статично визначувані системи) / Полтава: ПолтНТУ, 2011.– 43 с.

Укладачі:

О.А. Шкурупій, кандидат технічних наук, доцент; В.О. Северин, кандидат технічних наук, доцент; А.М.Пашенко, кандидат технічних наук, доцент; Л.В.Карабаш, кандидат технічних наук, асистент

Відповідальний за випуск – завідувач кафедри будівельної механіки
О.А. Шкурупій, кандидат технічних наук, доцент

Рецензент:

Завідувач кафедри архітектури та міського будівництва, доктор технічних наук, професор О.В. Семко

Затверджено науково-методичною
радою університету
Протокол № 2 від 25.10.2011 р.

58.12.04.02

Авторська редакція

ЗМІСТ

1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ	4
2 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ТЕМ КУРСУ	4
2.1 Вступ	4
2.2 Розрахункова схема конструкції, будівлі (споруди)	5
2.3 Кінематичний аналіз розрахункових схем	6
3 СТАТИЧНО ВИЗНАЧУВАНІ СТЕРЖНЕВІ СИСТЕМИ	7
3.1 Методи визначення зусиль від нерухомого статичного навантаження	7
3.2 Методи визначення зусиль від рухомого навантаження	8
3.3 Тришарнірні системи	9
3.4 Розрахунок статично визначуваних ферм	10
3.5 Визначення переміщень в статично визначуваних системах	12
4 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ	13
4.1 Зміст курсової роботи	13
4.2 Методичні вказівки до виконання курсової роботи	15
ЛІТЕРАТУРА	21
ДОДАТОК	22
Розрахункові схеми та таблиці вихідних даних до виконання курсової роботи	22

1 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Будівельна механіка – це наука про принципи й методи розрахунку будівель і споруд на міцність, жорсткість та стійкість. Вона є основою для підготовки інженера-будівельника і відчиняє йому двері в світ проектування будівель і споруд.

Якісне й економічне проектування та зведення будівель і споруд можливе лише тоді, коли інженер-будівельник буде мати добру теоретичну та практичну підготовку з будівельної механіки.

Будівельна механіка для студентів будівельних спеціальностей є однією з основних, базових дисциплін.

Методичні вказівки розроблені відповідно до навчальної програми з дисципліни «Будівельна механіка» для студентів усіх форм навчання з напрямку підготовки – 6.060101 «Будівництво» за освітньо-кваліфікаційним рівнем – «Бакалавр».

Основна форма вивчення курсу будівельної механіки для студентів – це самостійна робота з навчально-методичною та нормативною літературою та індивідуальна робота при виконанні курсових і розрахунково-графічних робіт.

Вивчення курсу будівельної механіки потрібно розпочинати з вивчення теорії у підручниках, посібниках, конспектах лекцій та методичних вказівках. Після цього рекомендується розпочати розв'язання задач, які наведені у підручниках та посібниках, і лише тоді виконувати індивідуальні завдання (курсую або розрахунково-графічну роботу).

Основні розділи курсу будівельної механіки викладаються студентам на лекціях і практичних заняттях, на яких роз'яснюються та доповнюються основні положення, що вивчаються.

2 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ТЕМ КУРСУ

2.1 Вступ

Література: [1] с. 5-6; [2] с. 7-13; [3] с. 3; [4] с. 4-9; [5] с. 3-7, 17-20; [6] с. 8-19

Основні поняття та ключові слова розділу: будівельна механіка та її основні принципи; історичний огляд і значення курсу будівельної механіки при розв'язанні задач, пов'язаних із розрахунками будівельних конструкцій, будівель і споруд; задачі та методи будівельної механіки як науки про розрахунки будівельних конструкцій, будівель та споруд на міцність, жорсткість, стійкість та надійність.

Вказівки. Починаючи вивчення курсу будівельної механіки, студент повинен ознайомитись із загальними задачами зазначеної науки. Необхідно повторити відповідні розділи з дисциплін «Теоретична механіка», «Опір матеріалів», що стосуються таких понять, як міцність, жорсткість та стійкість.

Студенту необхідно знати, що основні методи визначення внутрішніх зусиль, які вивчалися в курсах теоретичної механіки та опору матеріалів, використовуються і в будівельній механіці.

Питання для самоконтролю:

- 1 Що називається будівельною механікою?
- 2 Мета та задачі будівельної механіки?
- 3 Методи будівельної механіки?
- 4 Які дисципліни передують вивченню курсу будівельної механіки?
- 5 Які дисципліни забезпечує будівельна механіка?
- 6 Які вчені внесли значний вклад у розвиток будівельної механіки?

2.2 Розрахункова схема конструкції, будівлі (споруди)

Література: [1] с. 6-21; [3] с. 3-6; [4] с. 9-12; [5] с. 8-12; [6] с. 25-31

Основні поняття та ключові слова розділу: *реальний об'єкт; розрахункова схема конструкції, будівлі (споруди); різноманітність розрахункових схем, їх залежність від необхідної точності розрахунку та використання обчислювальної техніки; статичний і кінематичний аналіз розрахункових схем; типи в'язей та опор; стержневі (дискретні), суцільні (континуальні) системи; види навантажень і впливів; основні елементи будівель та споруд; способи з'єднання елементів у єдину систему та закріплення будівель і споруд до основи (підвалин); проліт (прогін); розпір; стріла підйому; балка; рама; криволінійний брус; арка; ферма; стержні, пластини, оболонки, масивні тіла.*

Вказівки. При розрахунку споруд на міцність, жорсткість і стійкість зазвичай розглядають не реальну будівлю чи споруду, а її спрощену розрахункову схему. Це пов'язано з тим, що більшість споруд має складну структуру елементів. Тому для розрахунку доводиться спрощувати систему, яку розраховують, свідомо відмовляючись від багатьох менш суттєвих факторів. Отже, розрахункова схема – є спрощене зображення конструкції (будівлі чи споруди), яке отримують за рахунок ігнорування другорядних факторів. Перехід від реальної споруди до її розрахункової схеми – дуже відповідальний етап розрахунку. Спрощення при переході до розрахункової схеми, мають зробити прийнятною трудомісткість розрахунку, проте, вони повинні забезпечити достовірність результатів у межах допустимої інженерної точності.

Інженерні споруди являють собою сукупність різних конструктивних елементів (стержнів, балок, плит, ферм, структур, оболонок, тощо), з'єднаних між собою у вузлах в'язями. Для розрахунку споруд необхідно визначити розрахункову схему, в якій окремі елементи споруди замінюють їх ідеалізованими схемами. При цьому відкидають ті другорядні фактори, які суттєво не впливають на роботу системи в цілому. Такі спрощення необхідні, оскільки без них розрахунок споруди є принципово неможливим, через невичерпаність властивостей споруди. Спрощуються: *геометричні форми, механічні властивості, характер навантаження* тощо. Розрахункові схеми, в яких початкова та деформована форми збігаються з площиною, називаються плоскими. Крім того, є просторові системи, котрі при навантаженні відзначаються просторовим характером деформації. Вивчаючи поняття про

розрахункову схему, потрібно засвоїти, що її вибір є важливим етапом розрахунку будівель та споруд. При цьому, необхідно знати, що від вдалого вибору розрахункової схеми споруди залежить трудомісткість і точність розрахунку. Розрахункова схема споруди тісно зв'язана з допущеннями та передумовами, що у подальшому визначають метод розрахунку. При вивченні теми про розрахункову схему будівлі (споруди) треба мати на увазі, що для однієї і тієї самої споруди у деяких випадках можливо запропонувати різні її розрахункові схеми. При цьому слід засвоїти: яким чином прикріплюються несучі конструкції систем до основи та які бувають види опор; що таке шарнірно-рухома, шарнірно-нерухома, затиснута та затиснуто-рухома опори, скільки вони мають кінематичних в'язей, а також що називається пружно-податливою опорою?

Питання для самоконтролю:

- 1 Що називається розрахунковою схемою?
- 2 Які спрощення властивостей несучих конструкцій приймаються при виборі їх розрахункових схем?
- 3 Назвіть і накресліть види опор?
- 4 Скільки кінематичних в'язей має кожен окремий вид опори?
- 5 Що називається пружно-податливою опорою?

2.3 Кінематичний аналіз розрахункових схем

Література: [1] с. 28-46; [2] с. 16-26; [3] с. 6-13; [4] с. 12-32, 45-51; [5] с. 12-17; [6] с. 24-64

Основні поняття та ключові слова розділу: ступінь вільності системи (кількісний аналіз); аналіз геометричної структури розрахункової схеми (якісний аналіз); геометрично змінювана система (механізм); геометрично незмінювана система; миттєво змінювана система; статично визначувана й статично невизначувана система; шарнірно-стержнева та дискова система; диск, стержень, простий шарнір, кратний шарнір, опорна в'язь, опора, замкнений контур, вузол.

Вказівки. Мета кінематичного аналізу розрахункової схеми будівлі чи споруди полягає в тому, щоб перевірити чи буде система геометрично змінюваною або незмінюваною та нерухомою, статично визначуваною або невизначною. Починаючи вивчати дану тему, необхідно засвоїти такі поняття: диск; кінематична в'язь; ступінь вільності; ступінь статичної невизначуваності; геометрична змінюваність.

При визначенні ступеня вільності (W) для дискових систем за формулою П.Л.Чебишева ($W = 3D - 2Ш - B_0$) необхідно звернути увагу на підрахунок кількості простих шарнірів. При цьому треба засвоїти, що шарнір, який з'єднує не два, а n дисків дорівнює кількості $n-1$ простих шарнірів. Крім того, необхідно мати на увазі, що диск – це така частина системи, геометрична незмінність якої раніше вже доведена. Сам по собі диск може бути статично

невизначуваний (наприклад, замкнений контур). Кожен замкнений контур є тричі внутрішньо статично невизначуваною системою.

При визначенні ступеня вільності для шарнірно-стержневих систем за формулою $W = 2B - C - B_0$ доцільно звернути увагу на підрахунок кількості вузлів (B) та стержнів (C), а також засвоїти, що кількість зайвих в'язей $L = -W$.

Особливу увагу потрібно звернути на якісну складову кінематичного аналізу – перевірку наявності геометричної незмінюваності системи. Для цього необхідно засвоїти правила взаємного з'єднання дисків і приєднання системи до нерухомої основи. При цьому важливо знати, що віссю повороту диска вважається лінія, яка з'єднує центри шарнірів, що приєднують його до інших дисків. При аналізі геометричної структури системи треба засвоїти правила утворення геометрично незмінюваних систем і добре знати ознаки миттєвої змінюваності та вміти знаходити їх у складних системах.

Питання для самоконтролю:

- 1 Яка мета кінематичного аналізу розрахункових схем будівель (споруд)?
- 2 Які складові кінематичного аналізу?
- 3 Що таке ступінь вільності системи?
- 4 Як визначається ступінь вільності для дискових систем?
- 5 Простий та кратний шарнір. Як визначається кратність шарніра?
- 6 Як визначається ступінь вільності для шарнірно-стержневих систем?
- 7 Як довести, що система статично визначувана або невизначувана і геометрично незмінювана?
- 8 Чому необхідно виконувати аналіз геометричної структури розрахункової схеми?
- 9 Які є правила створення незмінюваних систем? Випадки миттєвої змінюваності.

3 СТАТИЧНО ВИЗНАЧУВАНІ СТЕРЖНЕВІ СИСТЕМИ

3.1 Методи визначення зусиль від нерухомого статичного навантаження

Література: [1] с. 98-120; [2] с. 27-31, 51-59, 62-64; [3] с. 14-17; [4] с. 33-45; [5] с. 25-28; [6] с. 251-281

Основні поняття та ключові слова розділу: зовнішнє статичне нерухоме навантаження, зосереджена сила, розподілене навантаження, зосереджений момент, опорні реакції, епюра, внутрішні зусилля, згинальний момент, поперечна сила, поздовжня сила, принцип суперпозиції (незалежності дії), переміщення (кутові, лінійні).

Вказівки. Основні дані про навантаження та методи визначення зусиль у статично визначуваних системах уже відомі з курсу опору матеріалів. У цьому розділі необхідно засвоїти класифікацію навантажень залежно від часу їх дії. Згідно з нормативними документами [11, 12] навантаження діляться на постійні та тимчасові (тривалі, короткочасні).

Розпочинаючи розрахунок статично визначуваних систем, необхідно повторити метод перерізів, правила побудови епюр внутрішніх зусиль, залежність між навантаженнями та зусиллями. При розрахунку багатодискових, статично визначуваних балок рекомендується розділяти балку на окремі диски (окремі прості балки з консолями та без них), використовуючи при цьому поперкову схему – схему взаємодії окремих простих балок. Це дасть можливість звести розрахунок багатодискових статично визначуваних балок до розрахунку простих балок як з консолями, так і без них.

При складанні поперкової схеми багатодискової, статично визначуваної балки необхідно виділити головні та другорядні балки (елементи). Розраховуючи окремі балки, треба враховувати рівність за величиною та протилежність за напрямком сил взаємодії (тиску й реакцій) у шарнірах, які з'єднують окремі елементи. За допомогою поперкової схеми зручно розраховувати також деякі типи статично визначуваних рам, поділяючи їх на окремі прості, статично визначувані елементи.

Питання для самоконтролю:

- 1 Які є види навантажень та їх класифікація згідно з нормами [11]?
- 2 Які внутрішні зусилля можуть виникати в перерізі стержневої системи?
- 3 Що таке еюра внутрішнього зусилля?
- 4 Які є правила побудови епюр і як виконується їх перевірка?
- 5 Як будується поперкова схема багатодискових систем (балок, рам)?
- 6 Яка специфіка визначення внутрішніх зусиль в багатодискових системах (балках, рамах)?
- 7 У чому полягає принцип незалежності дії сил (принцип суперпозиції)?

3.2 Методи визначення зусиль від рухомого навантаження

Література: [1] с. 120-132, 134-145; [2] с. 31-50, 59-62, 64-69; [3] с. 17-36; [4] с. 51-93; [5] с. 28-49

Основні поняття та ключові слова розділу: різновиди рухомих навантажень, особливості розрахунку на рухоме навантаження, лінія впливу, розмірність ординат ліній впливу, статичний та кінематичний способи побудови ліній впливу реакцій та внутрішніх зусиль з урахуванням випадку коли навантаження передається у вузлах (вузлове навантаження), передаточна пряма, перша похідна від ліній впливу, визначення зусиль за допомогою ліній впливу від зосереджених сил і моментів та розподіленого навантаження, визначення розрахункового положення рухомого навантаження для ліній впливу ламаного й трикутного окреслення, побудова ліній впливу та їх використання в розрахунках багатодискових статично визначуваних балок і простих стержневих систем.

Вказівки. Розрахунок споруд на рухоме навантаження виконується за допомогою теорії ліній впливу. Вивчаючи цю тему необхідно засвоїти, що таке лінія впливу та чим вона відрізняється від епюри. Необхідно засвоїти правила

побудови ліній впливу опорних реакцій для балки на двох опорах без консолей та з консолями, а також консольної балки, котрі є основними, а всі інші лінії впливу реакцій і внутрішніх зусиль для багатодискових статично визначуваних систем будуються на їх основі.

Розглядаючи питання побудови ліній впливу опорних реакцій та внутрішніх зусиль у багатодискових статично визначуваних балках, необхідно звернути увагу на те, що їх побудову зручно виконувати, використовуючи поверхову схему. Особливістю побудови ліній впливу при вузловому навантаженні є їх побудова з урахуванням передаточних прямих.

Визначаючи значення зусиль за допомогою ліній впливу, слід застосовувати раціональний метод визначення зусилля від конкретного виду навантаження. Визначення відповідного розташування на системі рухомого навантаження для обчислення екстремальних значень величин опорних реакцій чи внутрішніх зусиль пов'язане з досить громіздкими розрахунками. В цьому випадку необхідно звернути увагу на те, як визначити значення цих величин при конкретному розташуванні групи зосереджених сил у випадках ламаного та трикутного окреслення ліній впливу.

Питання для самоконтролю:

- 1 Що таке лінія впливу?
- 2 Застосування ліній впливу.
- 3 Яка розмірність ліній впливу?
- 4 Які є різновиди рухомого навантаження?
- 5 Які є способи побудови ліній впливу?
- 6 Як визначити величину зусилля у заданому перерізі за допомогою лінії впливу від нерухомого та рухомого навантаження?
- 7 Як визначити екстремальне положення рухомого навантаження у випадках ламаного та трикутного окреслення ліній впливу?

3.3 Тришарнірні системи

Література: [1] с. 182-200; [2] с. 70-82, 87-95; [3] с. 65-72; [4] с. 126-144; [5] с. 50-58; [6] с. 262-269

Основні поняття та ключові слова розділу: ***тришарнірна система (арка, рама), ключовий шарнір (ключ), опорний шарнір, розпір, розпірна система, раціональне окреслення вісі арки, зтяжка (зтяг, стягель), проліт арки, стріла підйому арки.***

Вказівки. При вивченні даної теми необхідно засвоїти, що називається тришарнірною системою та класифікацію тришарнірних систем. Особливу увагу необхідно звернути на те, що при дії на тришарнірну систему вертикального навантаження, в її опорах виникають не тільки вертикальні, але й горизонтальні опорні реакції (розпір). Для визначення розпору необхідно скласти рівняння статички, які ґрунтуються на рівності нулю згинального моменту в

ключовому шарнірі тришарнірної системи. Необхідно також вивчити способи визначення внутрішніх зусиль у перерізах тришарнірної системи від довільного навантаження. При вертикальному навантаженні на тришарнірну систему внутрішні зусилля можна визначати згідно з такими формулами:

$$\begin{aligned}M_x &= M_x^{\bar{0}} - H y_x ; \\ Q_x &= Q_x^{\bar{0}} \cos\varphi_x - H \sin\varphi_x ; \\ N_x &= -(Q_x^{\bar{0}} \sin\varphi_x + H \cos\varphi_x) .\end{aligned}$$

Необхідно знати, як одержані ці формули та їх зміст, а також вивчити питання про раціональне окреслення вісі арки.

Лінії впливу внутрішніх зусиль у тришарнірних системах будуються на базі ліній впливу згинальних моментів і поперечних сил у перерізах простих балок та ліній впливу розпору. При побудові ліній впливу в тришарнірних системах необхідно ознайомитися зі способами: накладання ліній впливу, аналітичним (з використанням нульових точок) і графічним.

Вивчаючи тришарнірні системи з затяжкою, необхідно визначитись з її призначенням, а також ознайомитися з правилами обчислення в ній поздовжнього зусилля.

Питання для самоконтролю:

- 1 Що таке тришарнірна система?
- 2 Особливості кінематичного аналізу тришарнірних систем.
- 3 Види тришарнірних систем.
- 4 Що таке розпір тришарнірної системи?
- 5 Яке призначення затяжки у тришарнірних системах?
- 6 Як визначаються опорні реакції тришарнірних систем та виконується їх перевірка?
- 7 Як визначаються внутрішні зусилля у тришарнірних системах при довільному навантаженні?
- 8 Які особливості визначення внутрішніх зусиль при вертикальному навантаженні?
- 9 Яке окреслення вісі арки є раціональним?
- 10 Як будуються лінії впливу внутрішніх зусиль у тришарнірних системах?

3.4 Розрахунок статично визначуваних ферм

Література: [1] с. 145-161, 171-178; [2] с. 98-158; [3] с. 44-65; [4] с. 93-125; [5] с. 61-82; [6] с. 251-262

Основні поняття та ключові слова розділу: **ферма** (статично визначувана та невизначувана), **проліт ферми**, **висота ферми**, **гратчаста структура ферми** (структурні ознаки), **вузол ферми**, **верхній та нижній пояс ферми**, **стояк ферми**, **гребеневий стояк ферми**, **висхідний та низхідний**

розкіс ферми, панель ферми, знижений нижній пояс ферми, геометрична форма контуру ферми (з паралельними поясами, з нахиленими поясами (односхилі, двосхилі), полігональні до яких відносять і сегментні), шпренгель (одноярусний, двоярусний), шпренгельна ферма, функціональні призначення ферм (кроквяні та підкроквяні, мостові, стрілові, баштові та ін.), лінія впливу зусиль в стержнях ферми, передаточна пряма.

Вказівки. При вивченні даної теми необхідно засвоїти, що називається фермою, поняття про ферму й особливості її роботи при вузловому навантаженні, різновиди розрахункових схем ферм і їх утворення, класифікацію ферм за геометричною формою контуру й їх структурними та функціональними ознаками, а також характером обпирання на основу. Слід звернути увагу на особливість визначення зусиль у стержнях ферм та розрахунок ферм при поза вузловому навантаженні, побудову ліній впливу опорних реакцій та поздовжніх зусиль у стержнях ферм і визначення значень цих величин за допомогою ліній впливу.

Принцип розрахунку статично визначуваних ферм відомий ще з курсу теоретичної механіки, тому необхідно закріпити свої знання з цієї теми і засвоїти прийняту в будівельній механіці методику кінематичного аналізу ферм, а також ознайомитись із розрахунковими схемами ферм і їх класифікацією.

Починаючи розрахунок ферм, необхідно переконатися в тому, що задана ферма є геометрично незмінюваною й статично визначуваною.

При аналітичному розрахунку ферм необхідно прагнути до того, щоб рівняння рівноваги включали одне невідоме зусилля. Досягнути цього можна майже в усіх випадках шляхом правильного вибору перерізу, моментної точки та раціональної послідовності вирізання вузлів, тобто раціонального способу (методу) визначення зусиль. Необхідно засвоїти окремі випадки рівноваги вузлів.

Вивчаючи розділ визначення зусиль у стержнях ферм аналітичним способом, треба мати на увазі, що при розв'язанні практичних задач користуються всіма відомими способами (методами). При розв'язанні конкретної задачі необхідно вибрати спосіб, який дає можливість отримати кінцевий результат з мінімальною кількістю обчислень. Дуже важливо вміти швидко знаходити стержні, в яких зусилля дорівнюють нулю. Це допоможе значною мірою спростити розв'язання задачі.

При побудові ліній впливу зусиль в стержнях ферми, як і при розрахунку систем на нерухоме навантаження, використовуються ті ж самі методи при складанні рівнянь рівноваги. Важливим при побудові ліній впливу зусиль у стержнях ферми є вміння правильно провести передаточну пряму в межах розрізаної панелі.

Вивчаючи питання про шпренгельні ферми, необхідно звернути увагу на особливості їх утворення та визначення зусиль.

При розрахунку ферм на поза вузлове навантаження треба звернути увагу на особливість визначення внутрішніх зусиль у стержнях ферм, де є таке навантаження. В цьому випадку у перерізах стержня виникають, крім поздовжніх зусиль, також згинальні моменти та поперечні сили.

Питання для самоконтролю:

- 1 Що називається фермою? Призначення ферм.
- 2 Як класифікують ферми?
- 3 Як визначаються опорні реакції у фермах?
- 4 Які є способи визначення зусиль у стержнях ферм?
- 5 Які особливості визначення зусиль у стержнях ферми при поза вузловому навантаженні?
- 6 Як будуються лінії впливу зусиль у стержнях ферм?

3.5 Визначення переміщень в статично визначуваних системах

Література: [1] с. 201-225; [2] с. 168-187, 189-192; [3] с. 82-83, 88-95; [4] с. 178-179, 193-205; [5] с. 97-98, 108-118; [6] с. 64-86

Основні поняття та ключові слова розділу: ***деформація та переміщення, лінійні та кутові переміщення, необхідність обчислення переміщень (розрахунку на жорсткість), позначення переміщень, узагальнене переміщення, одиничне переміщення, дійсна та можлива (віртуальна) робота зовнішніх сил, можлива робота внутрішніх зусиль, принцип можливих переміщень, основний та допоміжний (одиничний) стани, інтеграл Максвелла-Мора, формули для обчислення переміщень (інтеграла Максвелла-Мора) за правилом Верещагіна, формула Сімпсона-Корноухова, температурні переміщення, теорема Бетті, переміщення від зміщення опор, теорема Максвелла, алгоритм визначення переміщень.***

Вказівки. При вивченні даної теми необхідно засвоїти поняття про переміщення та їх позначення, що таке дійсна та можлива (віртуальна) робота зовнішніх сил та внутрішніх зусиль, вивчити принцип можливих переміщень, теореми про взаємність: робіт (Бетті); переміщень (Максвелла); реакцій (перша теорема Релея); реакцій і переміщень (друга теорема Релея), загальний метод визначення переміщень за формулою Максвелла-Мора, алгоритм визначення переміщень й способи обчислення інтеграла Максвелла-Мора за правилом Верещагіна та формулою Сімпсона-Корноухова, а також як обчислювати переміщення від зміни температури та зміщення опор.

Ця тема має важливе практичне значення і є основою розрахунку будівель та споруд на жорсткість, стійкість і динамічні навантаження. Крім того, теорія переміщень використовується й при розрахунку статично невизначуваних систем.

Особливу увагу необхідно звернути на теореми про взаємність робіт, взаємність переміщень, принцип можливих переміщень та загальну формулу Максвелла-Мора для визначення переміщень від навантаження і температурних впливів. Для спрощення обчислення інтеграла Максвелла-Мора важливе практичне значення має спосіб Верещагіна й формули, котрі одержані на його основі, а також формула Сімпсона-Корноухова. Необхідно добре засвоїти алгоритм визначення переміщень у статично визначуваних балках, рамах та фермах. Для обчислення переміщень від зміщення опор необхідно використати теорему Бетті.

Питання для самоконтролю:

- 1 Що називається переміщенням? Їх види. Як позначаються переміщення?
- 2 Дійсна і можлива робота зовнішніх сил.
- 3 Основні теореми теорії переміщень.
- 4 Дійсна та можлива робота внутрішніх зусиль.
- 5 Принцип можливих переміщень для деформованих систем.
- 6 Загальний метод визначення переміщень. Метод Максвелла-Мора.
- 7 Як записати інтеграли Максвелла-Мора при визначенні переміщень у балках, рамах і фермах від зовнішнього навантаження?
- 8 Як обчислити інтеграли Максвелла-Мора за правилом Верещагіна та за формулою Сімпсона-Корноухова?
- 9 Алгоритм визначення переміщень.
- 10 Як визначити переміщення від температурних впливів і просідання опор?

4 ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Відповідно до навчального плану студенти, що навчаються за напрямом підготовки 6.060101 – «Будівництво» та здобувають освітньо-кваліфікаційний рівень «Бакалавр», виконують курсову роботу на тему: «Визначення внутрішніх зусиль та переміщень у статично визначуваних стержневих системах».

4.1 Зміст курсової роботи

Для розрахункових схем (багатодискової балки, багатодискової та тришарнірної рами й плоскої ферми) необхідно подати таке:

Частина 1. Визначення внутрішніх зусиль від постійного навантаження в балках, рамах та фермах.

1.1 Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

1.1.1 Для кожної розрахункової схеми конструкції виконати кінематичний аналіз.

1.1.2 Для балки та рам побудувати епюри внутрішніх зусиль, склавши й дослідивши відповідні рівняння цих зусиль.

1.1.3 В стержнях заданого вузла ферми визначити зусилля та перевірити його рівновагу.

1.2 Перелік графічного матеріалу.

1.2.1 Розрахункові схеми.

1.2.2 Поверхові (кінематичні) схеми.

1.2.3 Епюри внутрішніх зусиль для балки та рам.

Частина 2. Побудова ліній впливу зусиль у балці, тришарнірній рамі та фермі. Визначення в балці та фермі зусиль від заданого навантаження.

2.1 Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

2.1.1 Для визначення ординат ліній впливу скласти необхідні рівняння та виконати відповідні розрахунки.

2.1.2 Для балки завантажити лінії впливу зусиль R , M і Q постійним навантаженням та порівняти результати з тими, що отримані в частині 1.

2.1.3 У балці за допомогою ліній впливу визначити екстремальні значення (R , M , Q) від сумісної дії постійного та рухомого навантажень.

2.1.4 За допомогою ліній впливу визначити зусилля в стержнях заданого вузла ферми від вузлового навантаження та порівняти результати з тими, що отримані в частині 1.

2.2 Перелік графічного матеріалу.

2.2.1 Лінія впливу опорної реакції R та лінії впливу M і Q в заданому перерізі балки.

2.2.2 Лінії впливу M , Q та N у перерізі “к” тришарнірної рами.

2.2.3 Лінії впливу N у стержнях заданого вузла ферми.

Частина 3. Визначення переміщень у балках та рамах від постійного навантаження.

3.1 Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

3.1.1 Визначити переміщення заданого перерізу балки, багатодискової і тришарнірної рами (згідно з таблицею 5).

Жорсткість на згин для всіх стержнів $EI=10^5 \text{ кПа}\cdot\text{м}^4$ ($\text{кН}\cdot\text{м}^2$).

3.2 Перелік графічного матеріалу.

3.2.1 Епюри моментів від навантаження, схеми допоміжного стану, епюри моментів від одиничних силових факторів у допоміжному стані.

Дані для виконання частин курсової роботи вибираються студентом із таблиць за шифром. Шифр варіанта складається із трьох цифр і визначається згідно з номером залікової книжки студента.

Першу цифру шифру визначають як останню із суми всіх цифр номера залікової книжки студента. Наприклад, номер залікової книжки студента – 21486. Тоді сума всіх цифр буде дорівнювати $2+1+4+8+6=21$. Таким чином, перша цифра шифру буде дорівнювати **1**.

Другу цифру шифру визначають як останню із суми всіх цифр номера залікової книжки студента без урахування першої. Тоді сума цих цифр буде дорівнювати $1+4+8+6=19$. Отже, друга цифра шифру – **9**.

Третю цифру шифру визначають як останню з усіх цифр номера залікової книжки студента. Наприклад, номер залікової книжки студента – 21486. Тоді третя цифра шифру буде **6**.

Остаточний шифр варіанта, згідно з номером залікової книжки 21486, буде **196**. Значення вихідних даних для розрахунку відповідних частин курсової роботи (геометричних розмірів, навантажень тощо) необхідно брати з таблиць у рядках **1, 9 і 6**.

Номер розрахункової схеми для всіх завдань визначається двома останніми цифрами номера залікової книжки. Якщо число, яке визначене двома останніми цифрами номера залікової книжки більше ніж 30 або 60 або 90, тоді для визначення номера розрахункової схеми необхідно відняти від нього відповідно 30 або 60 або 90. Наприклад, номер залікової книжки студента – 21486. Тоді номер розрахункової схеми буде дорівнювати $86 - 60 = 26$.

Курсова робота виконується відповідно до «Положення про виконання курсових проектів та робіт» ПолтНТУ та виданого завдання. Всі рисунки необхідно виконувати з дотриманням лінійних та силових масштабів на листах формату **A4**. На епюрах і лініях впливу необхідно вказувати характерні значення ординат. На епюрах внутрішніх зусиль (крім епюри **M**) та лініях впливу зусиль необхідно вказувати знаки, а в масштабах указати їх розмірність.

Захист курсової роботи студентом здійснюється перед комісією у складі не менше двох викладачів у призначений термін.

4.2 Методичні вказівки до виконання курсової роботи

Для виконання розділів курсової роботи схеми та вихідні дані згідно з номером залікової книжки студента вибираються:

- для багатодискової балки – рисунок 1, таблиця 1;
- для багатодискової рами – рисунок 2, таблиця 2;
- для тришарнірної рами – рисунок 3, таблиця 3;
- для ферми – рисунок 4, таблиця 4;
- для обчислення переміщень – таблиця 5.

Частина 1. Визначення внутрішніх зусиль від постійного навантаження в балках, рамах та фермах.

Пункт 1.1.1

Кінематичний аналіз полягає у визначенні ступеня вільності (**W**) й аналізі геометричної структури розрахункової схеми. Для багатодискової балки, багатодискової та тришарнірної рами ступінь вільності визначається за формулою

$$W = 3D - 2Ш - B_o,$$

де D – кількість дисків у розрахунковій схемі;
 $Ш$ – кількість простих шарнірів;
 B_o – кількість опорних в'язей.

Для ферми ступінь вільності краще визначати за формулою:

$$W = 2B - C - B_o,$$

де B – кількість вузлів (ураховуючи опорні) в розрахунковій схемі ферми;
 C – кількість стержнів;
 B_o – кількість опорних в'язей.

Після обчислення W необхідно виконати аналіз геометричної структури схем.

Аналіз геометричної структури багатодискової балки та багатодискової рами найкраще виконувати шляхом побудови кінематичної (поверхової) схеми. Для цього виділяють головні й другорядні елементи. Їх класифікують після умовного «вилучення» шарнірів, які з'єднували елементи між собою. Ті елементи, які спроможні самостійно витримувати навантаження (консолі, балки та рами на двох шарнірних опорах), є головними. Другорядні – обов'язково опираються на головні по відношенню до них елементи. Головні елементи розташовуються на кінематичній (поверховій) схемі нижче від другорядних.

Пункт 1.1.2

Побудова епюр внутрішніх зусиль у багатодисковій балці (M і Q), а в багатодисковій рамі (M , Q та N) від постійного навантаження починається з розрахунку другорядних елементів на кінематичній схемі, а потім виконують розрахунок головних елементів. При розрахунку головних елементів необхідно знати сили взаємодії в шарнірах, які є опорними реакціями для другорядних елементів. Ці сили визначаються як реакції опор другорядних елементів від заданого навантаження. Їх ураховують у головних елементах як зосереджені сили, але спрямовані в протилежному напрямку.

За результатами послідовного розрахунку всіх елементів балок і рам будуються епюри внутрішніх зусиль для всієї багатодискової балки та багатодискової рами. Ординати епюри M відкладаються з боку розтягнутих волокон, при цьому знаки на епюрі не проставляються.

Розрахунок тришарнірної рами необхідно починати з визначення складових опорних реакцій. Опорні реакції обчислюються в такій послідовності: $\sum M_A = 0$; $\sum M_B = 0$; $\sum M_C^{лів} = 0$; $\sum M_C^{пра} = 0$, де A і B – опорні шарніри; C – ключовий шарнір.

Для побудови епюр M , Q і N необхідно записати рівняння цих зусиль на ділянках рами залежно від розташування перерізу (x). Задаючись різними значеннями аргументу (x), отримують величини згинальних моментів,

поперечних та поздовжніх сил у перерізах на ділянках рами (й у заданому перерізі “к”), згідно з якими будуються епюри M , Q і N .

Статична перевірка епюри M виконується шляхом розгляду рівноваги жорстких вузлів рами.

Епюри Q і N перевіряються сумісно, шляхом розгляду рівноваги жорстких та шарнірних вузлів: сума проєкцій всіх зовнішніх і внутрішніх сил, які діють у вузлі на вертикальну та горизонтальну вісь, повинна дорівнювати нулю.

Пункт 1.1.3

Розрахункові схеми ферм мають дві опори: шарнірно–нерухому та шарнірно–рухому. Реакції в трьох в'язях цих опор визначаються за допомогою рівнянь рівноваги: $\sum M_A = 0$; $\sum M_B = 0$; $\sum X = 0$, де A і B – опорні шарніри.

Перевірка реакцій виконується за допомогою рівняння $\sum Y = 0$.

Зусилля в кожному із стержнів заданого вузла ферми необхідно визначати, враховуючи зовнішнє навантаження. Для знаходження зусиль треба вибрати один із способів: вирізування вузлів, перерізів (проєкцій або моментної точки). При визначенні зусиль необхідно показувати перерізи, які використовуються, записувати відповідні рівняння рівноваги. Необхідні геометричні дані повинні бути визначені аналітично, а не братися з креслення ферми.

Перевірку рівноваги вузла необхідно виконати, використавши такі рівняння рівноваги: $\sum X = 0$ і $\sum Y = 0$.

Частина 2. Побудова ліній впливу зусиль у балці, тришарнірній рамі та фермі. Визначення в балці і фермі зусиль від заданого навантаження

Пункт 2.1.1

Лінії впливу будуються для:

- однієї опорної реакції R (за вибором студента) та зусиль M і Q в заданому перерізі багатодискової балки;
- зусиль M , Q і N у перерізі “К” тришарнірної рами;
- поздовжніх зусиль (N) у стержнях ферми заданого вузла.

Для побудови ліній впливу R , M , Q у багатодисковій балці використовується її кінематична схема, навантажена вертикальною рухомою одиничною силою. На першому етапі будується лінія впливу зусилля для елемента, де знаходиться переріз (опора). На другому етапі лінія впливу добудовується при переміщенні одиничного навантаження на всіх інших елементах кінематичної схеми балки. Після побудови ліній впливу необхідно знайти їх характерні ординати. Додатні ординати ліній впливу відкладаються зверху від базисної прямої, а від’ємні – знизу.

Лінії впливу M , Q , N у перерізі “к” тришарнірної рами будують способом накладання або аналітичним способом, розташовуючи одиничну силу в характерних перерізах, використовуючи при цьому формули:

$$л.в.М_k = л.в.М_k^{\bar{}} - л.в.Н \cdot у_k ;$$

$$л.в.Q_k = л.в.Q_k^{\bar{}} \cos\varphi_k - л.в.Н \sin\varphi_k ;$$

$$л.в.N_k = -(л.в.Q_k^{\bar{}} \sin\varphi_k + л.в.Н \cos\varphi_k) .$$

Лінії впливу зусиль у стержнях ферми будуються при розташуванні одиничної зосередженої вертикальної сили у вузлах верхнього і нижнього поясів. Для побудови ліній впливу використовується статичний спосіб:

- на фермі фіксується місце знаходження рухомого навантаження;
- вибирається раціональний спосіб визначення зусилля у стержні (див. пункт 1.1.3);
- за допомогою одного із рівнянь рівноваги ($\sum M = 0$; $\sum X = 0$; $\sum Y = 0$) отримуємо вираз для знаходження зусилля у стержні, лінія впливу в якому будується;
- досліджується одержана функція і будується її графік – лінія впливу зусилля в стержні ферми.

Лінії впливу зусиль у стержнях будують під схемою ферми. На них указуються числові значення ординат у точках, які співпадають із проекціями вузлів.

Пункт 2.1.2

Величини згинальних моментів, поперечних сил і опорних реакцій, які виникають від постійного навантаження, знаходять за допомогою ліній впливу за формулою

$$z = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \omega_i + \sum_{j=1}^m F_j \cdot y_j ,$$

- де z – згинальний момент (M), поперечна сила (Q) або опорна реакція (R);
 q_i – i -та інтенсивність рівномірно розподіленого навантаження;
 ω_i – алгебраїчна сума площ ділянок, обмежених лінією впливу під рівномірно розподіленим i -тим навантаженням;
 F_j – j -та зосереджена сила;
 y_j – ордината лінії впливу під силою F_j (зі своїм знаком);
 n – кількість інтенсивностей рівномірно розподіленого навантаження;
 m – кількість зосереджених сил.

Якщо величини M , Q , R , які одержані таким чином, дорівнюють знайденим аналітично в пункті 1.1.2, то розрахунки виконані правильно.

Пункт 2.1.3

Максимальні та мінімальні значення зусиль (R , M , Q), для яких побудовані лінії впливу (дивися пункт 2.1.1) у багатодисковій балці від тимчасового рухомого навантаження, визначаються шляхом завантаження відповідних додатних і від'ємних ділянок цих ліній впливу.

Розташування рухомого навантаження на ділянках ліній впливу, що мають форму прямокутника або прямокутного трикутника, для знаходження максимальних та мінімальних значень зусиль здійснюється способом спроб. При цьому рухоме навантаження може розташовуватися на різних ділянках лінії впливу, якщо воно попарно не з'єднане між собою.

У випадку, коли ділянка лінії впливу трикутна (не прямокутний трикутник), то розташування рухомого навантаження на цій ділянці для визначення максимального або мінімального значення зусилля (залежно від знака лінії впливу) визначається шляхом сумісної перевірки двох нерівностей:

$$\begin{cases} \frac{\sum F_{лів} + F_{кр}}{a} \geq \frac{\sum F_{пр}}{b}; \\ \frac{\sum F_{лів}}{a} \leq \frac{F_{кр} + \sum F_{пр}}{b}, \end{cases}$$

де $F_{кр}$ – сила, що розташована над вершиною трикутника (критична сила);
 $\sum F_{лів}$, $\sum F_{пр}$ – сума сил, що розташовані відповідно зліва та справа від критичної сили;
 a , b – сторони основи трикутника відповідно зліва і справа від його вершини.

Максимальні та мінімальні значення зусиль (R , M , Q) від прийнятого розташування рухомого навантаження визначаються згідно з формулами:

$$Z_{max}^{рух} = \sum F_i \cdot y_i ; Z_{min}^{рух} = \sum F_i \cdot y_i .$$

Рухоме навантаження може залишати межі багатодискової балки. Таке рішення студент приймає сам при виконанні цього пункту курсової роботи, але рухоме навантаження обов'язково повинно рухатись по балці.

Екстремальні значення зусиль (R , M , Q) від сумісної дії постійного та рухомого навантажень в балці визначаються згідно з формулами:

$$Z_{max} = Z_{пост} + Z_{max}^{рух} ; Z_{min} = Z_{пост} + Z_{min}^{рух} ,$$

де Z – екстремальні значення зусиль (R , M , Q) відповідно від постійного та рухомого навантажень.

Пункт 2.1.4

Зусилля у стержнях заданого вузла ферми за допомогою ліній впливу від заданого навантаження визначаються за формулою

$$N = \sum_{i=1}^n F_i \cdot y_i ,$$

де y_i – ордината лінії впливу зі своїм знаком, під силою F_i ;
 n – кількість вузлів, де розташовані сили F_i .

Значення зусиль у стержнях ферми порівнюються з результатами, які отримані для цих стержнів в пункті 1.1.3. Якщо результати збігаються, то розрахунки виконані правильно.

Частина 3. Визначення переміщень у балках та рамах від постійного навантаження

3.1 Зміст розрахунково-пояснювальної записки.

3.1.1 Визначити переміщення заданого перерізу балки, багатодискової і тришарнірної рами (відповідно до таблиці 5).

Жорсткість на згин для всіх стержнів – $EI=10^5$ кПа·м⁴ (кН·м²).

3.2 Перелік графічного матеріалу.

3.2.1 Епюри моментів від навантаження, схеми допоміжного стану, епюри моментів від одиничних силових факторів у допоміжному стані.

Пункт 3.1.1

Переміщення в указаному перерізі (див. таблицю 5) необхідно визначити в багатодисковій балці, багатодисковій та тришарнірній рамах.

У статично визначуваних системах переміщення обчислюються за таким алгоритмом:

1 Згідно з принципом можливих переміщень вибирають два стани: **основний** (дійсний – задана система із зовнішнім навантаженням) та **допоміжний** (одиничний – задана система з одиничним навантаженням, що прикладається в перерізі у напрямку переміщення, яке визначається).

2 Окремо будують епюри згинальних моментів для кожного стану від відповідних навантажень. Епюри згинальних моментів для основного стану вже побудовані у частині першій курсової роботи (див. пункт 1.1.2). Відповідні розрахункові схеми та епюри згинальних моментів від зовнішніх навантажень необхідно винести у цю частину курсової роботи з пункту 1.1.2. Епюри згинальних моментів для допоміжного стану (від одиничного безрозмірного навантаження) будуються аналогічно, як у пункті 1.1.2. Для визначення лінійного переміщення перерізу у напрямку цього переміщення прикладається одинична зосереджена сила, а для кутового – одиничний зосереджений момент. Якщо необхідно визначити взаємне (лінійне або кутове) переміщення двох перерізів заданої системи, тоді у допоміжному стані в цих перерізах прикладають дві одиничні, протилежні за напрямком, зосереджені сили або два одиничні, протилежні за напрямком, зосереджені моменти.

3 На основі принципу суперпозиції за допомогою правила Верещагіна або за формулою Сімпсона-Корноухова обчислюють відповідні переміщення шляхом добутку епюр згинальних моментів відповідних двох станів.

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1 Строительная механика стержневых систем / А.Ф. Смирнов, А.В. Александров, Б.Я. Лащеников, Н.Н. Шапошников. – М.: Стройиздат, 1981. – 512 с.

2 Дарков, А.В. Строительная механика / А.В. Дарков, Н.Н. Шапошников. – М.: Высш. школа, 1986. – 607 с.

3 Строительная механика стержневых систем и оболочек / Ю.И. Бутенко, С.Н. Кан, В.П. Пустовойтов, и др.. – К.: Вища школа, 1980. – 488 с.

4 Киселев, В.А. Строительная механика. Общий курс: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп / В.А. Киселев. – М.: Стройиздат, 1986. – 520 с.

5 Доценко, И.С. Строительная механика / И.С. Доценко. – К.: Вища школа, 1976. – 296 с.

6 Баженов, В.А. Будівельна механіка. Комп'ютерні технології: Підручник / В.А. Баженов, А.В. Перельмутер, О.В. Шишов; за заг. ред. д.т.н., проф. В.А. Баженова. – К.: Каравела, 2009. – 696 с.

Допоміжна

7 Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики / под ред. Г.К. Клейна. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1980. – 384 с.

8 Ржаницин, А.Р. Строительная механика / А.Р. Ржаницин. – М.: Высшая школа, 1982. – 400 с. (тоже 2-е изд., перераб. и доп., 1991. – 439 с.)

9 Строительная механика. Руководство к практическим занятиям / под ред. Ю.И. Бутенко. – К.: Вища шк., 1984. – 328 с.

10 Баженов, В.А. Будівельна механіка: розрахункові вправи. Задачі. Комп'ютерне тестування: навч. посібник / В.А. Баженов, Г.М. Іванченко, О.В. Шишов. – К.: Каравела, 2006. – 344 с.

11 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2–2:2006 / УкрНДІпроектстальконструкція; Мінбуд України. – Замість СНиП 2.01.07–85, за винятком розділу 10.– К.: Сталь, 2006. – 75 с.

12. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85 / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, розділ 10, 1988. – 36 с.

ДОДАТОК

Розрахункові схеми та таблиці вихідних даних до виконання курсової роботи

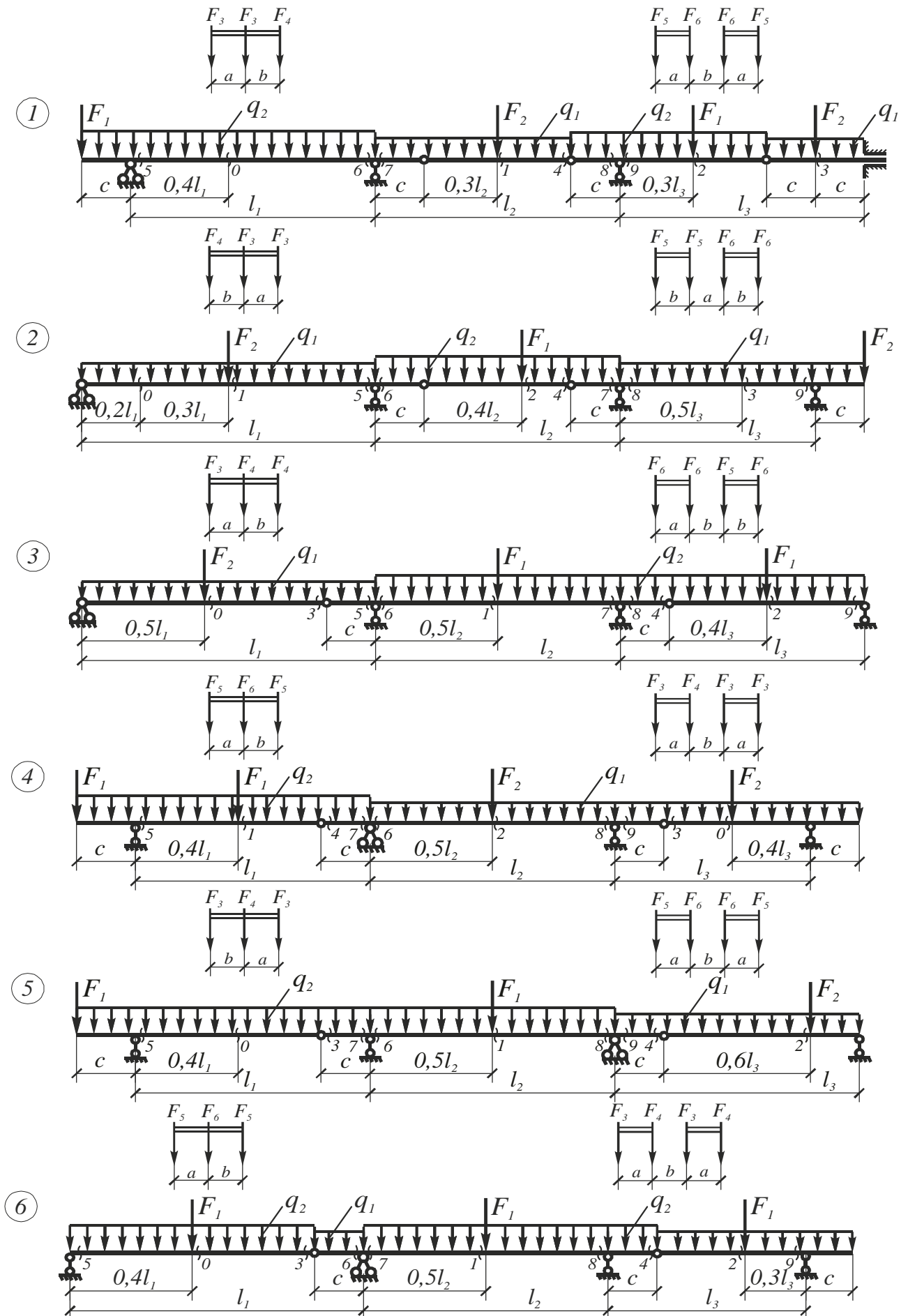


Рис. 1 – Розрахункові схеми багатодискових балок

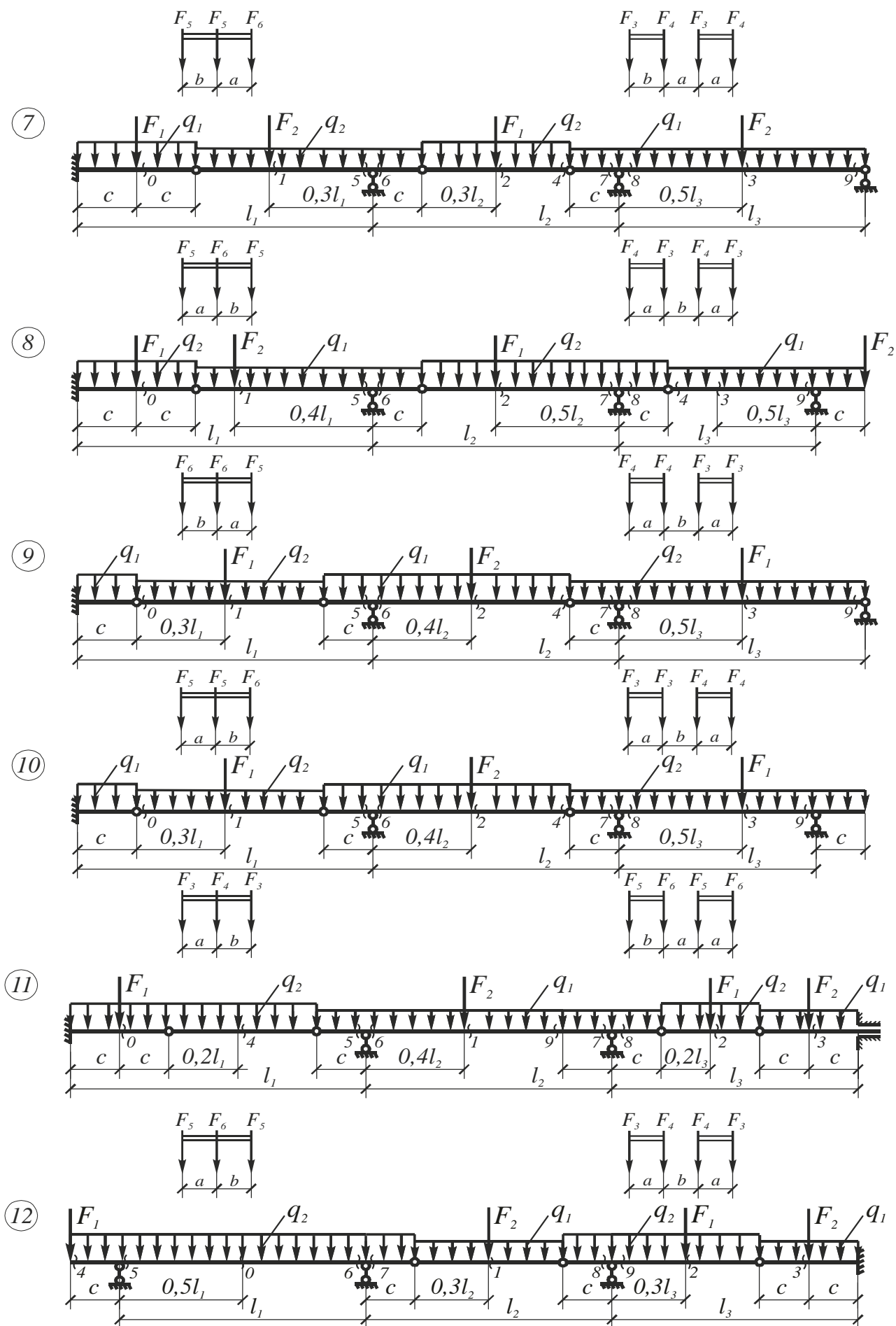


Рис. 1 – Розрахункові схеми багатодискових балок

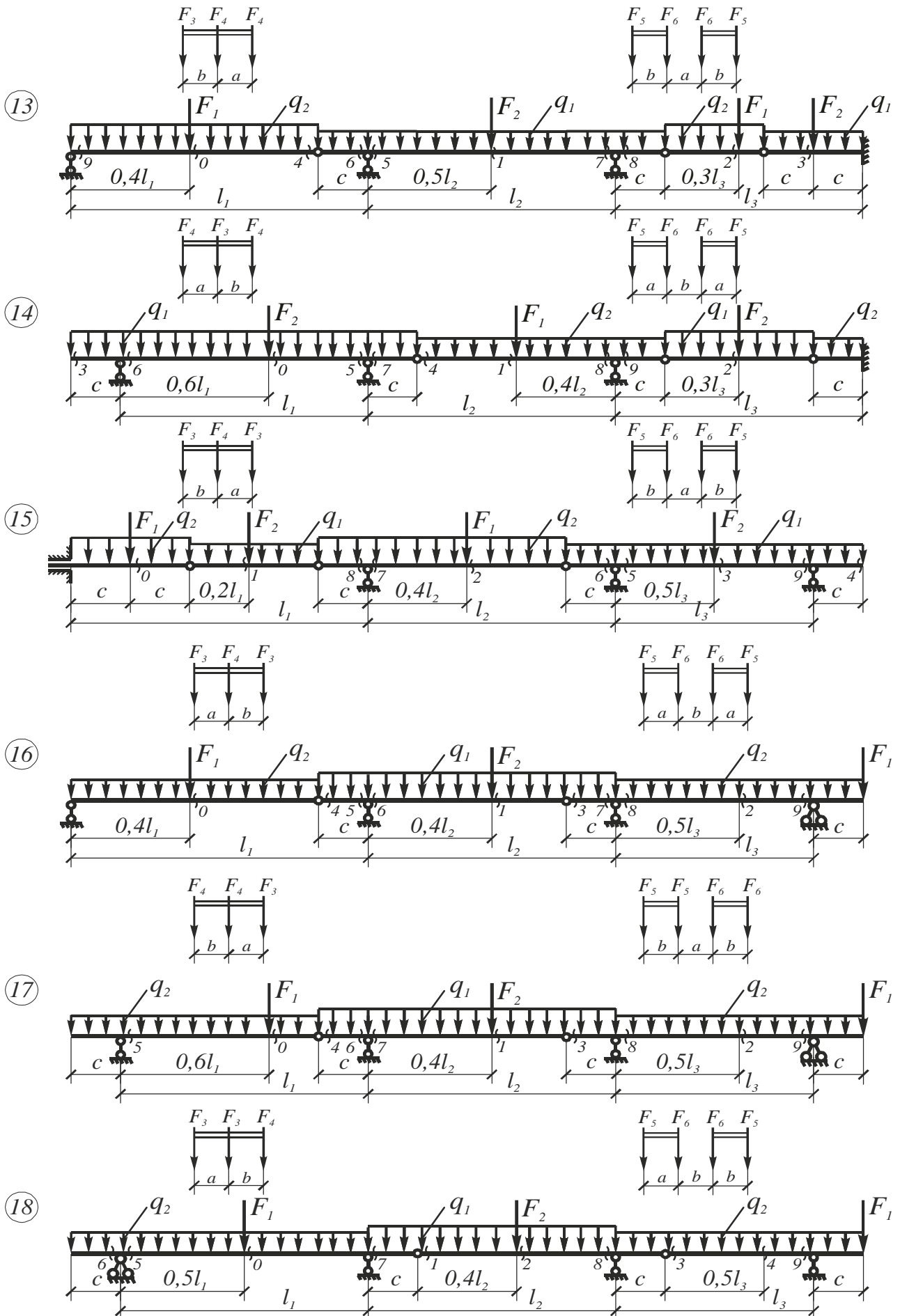


Рис. 1 – Розрахункові схеми багатодискових балок

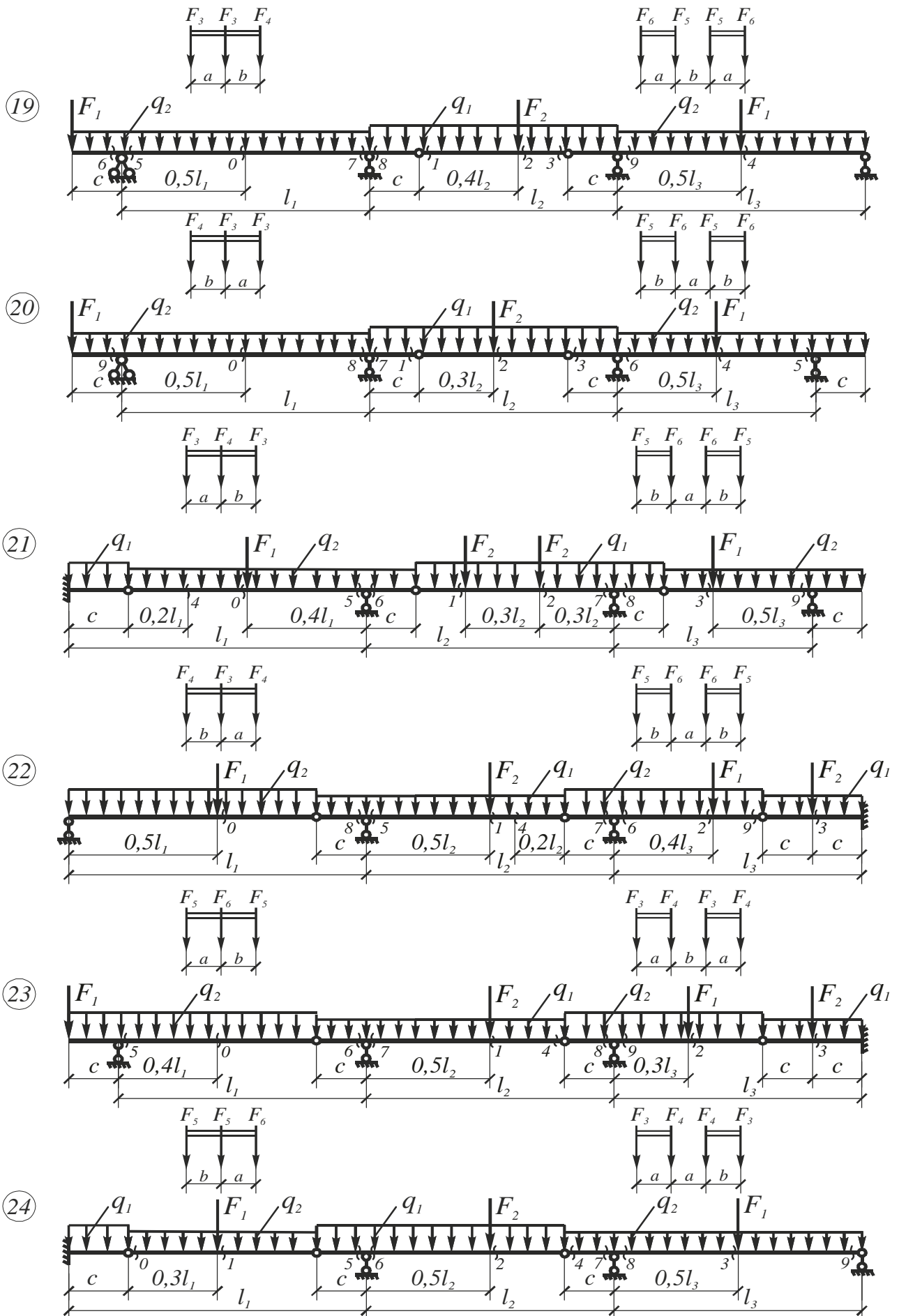


Рис. 1 – Розрахункові схеми багатодискових балок

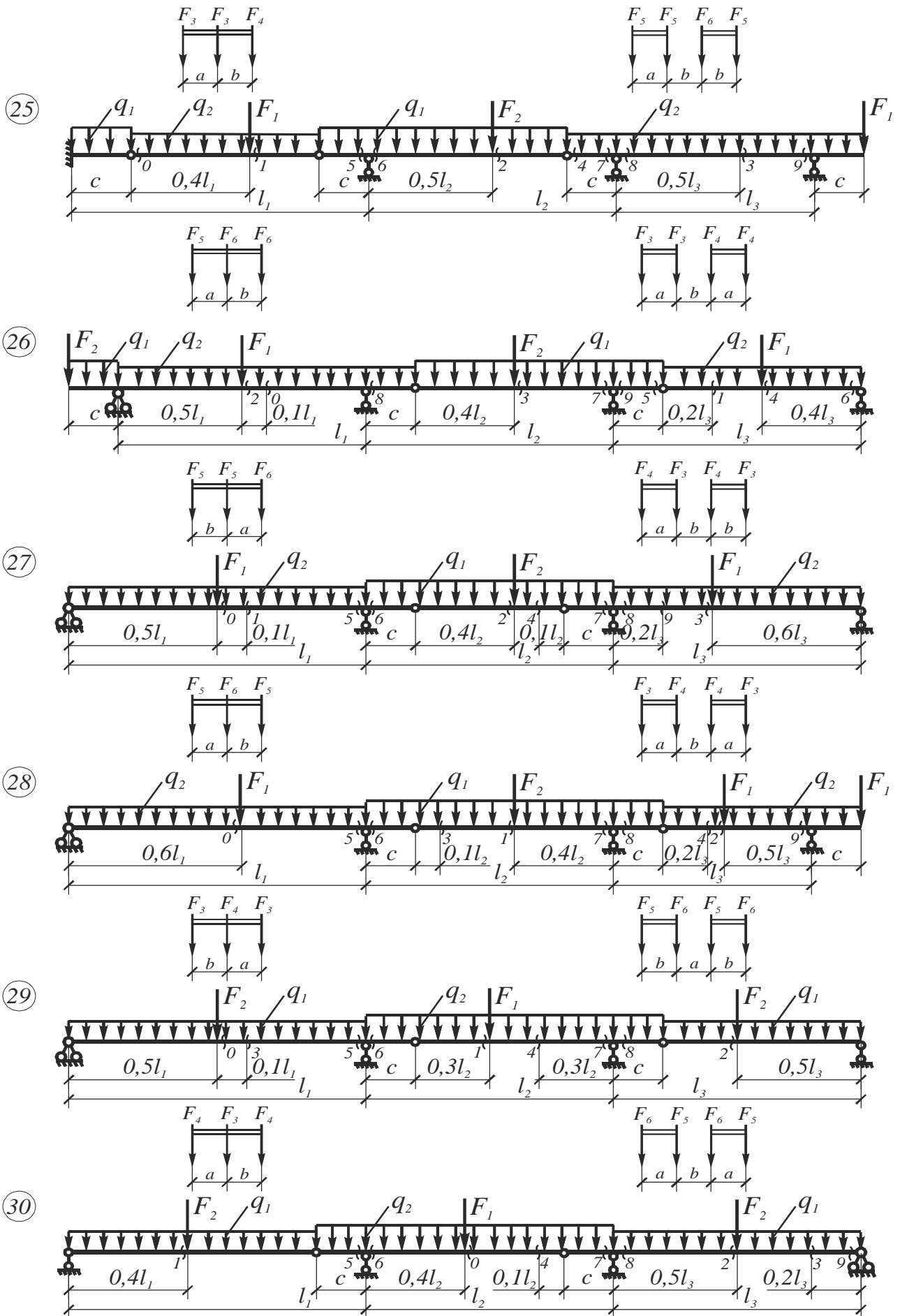


Рис. 1 – Розрахункові схеми багатодискових балок

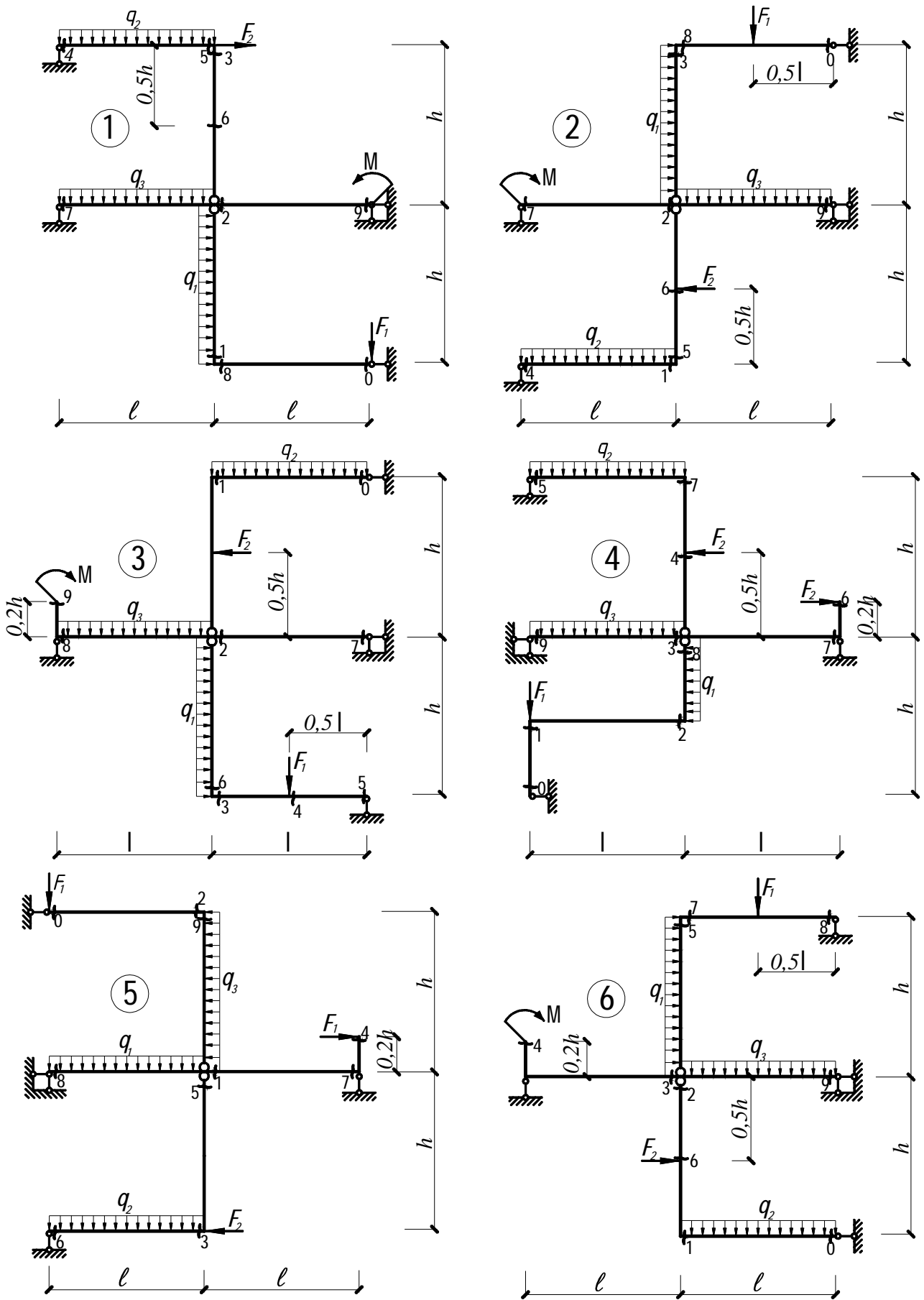


Рис. 2 – Розрахункові схеми рам

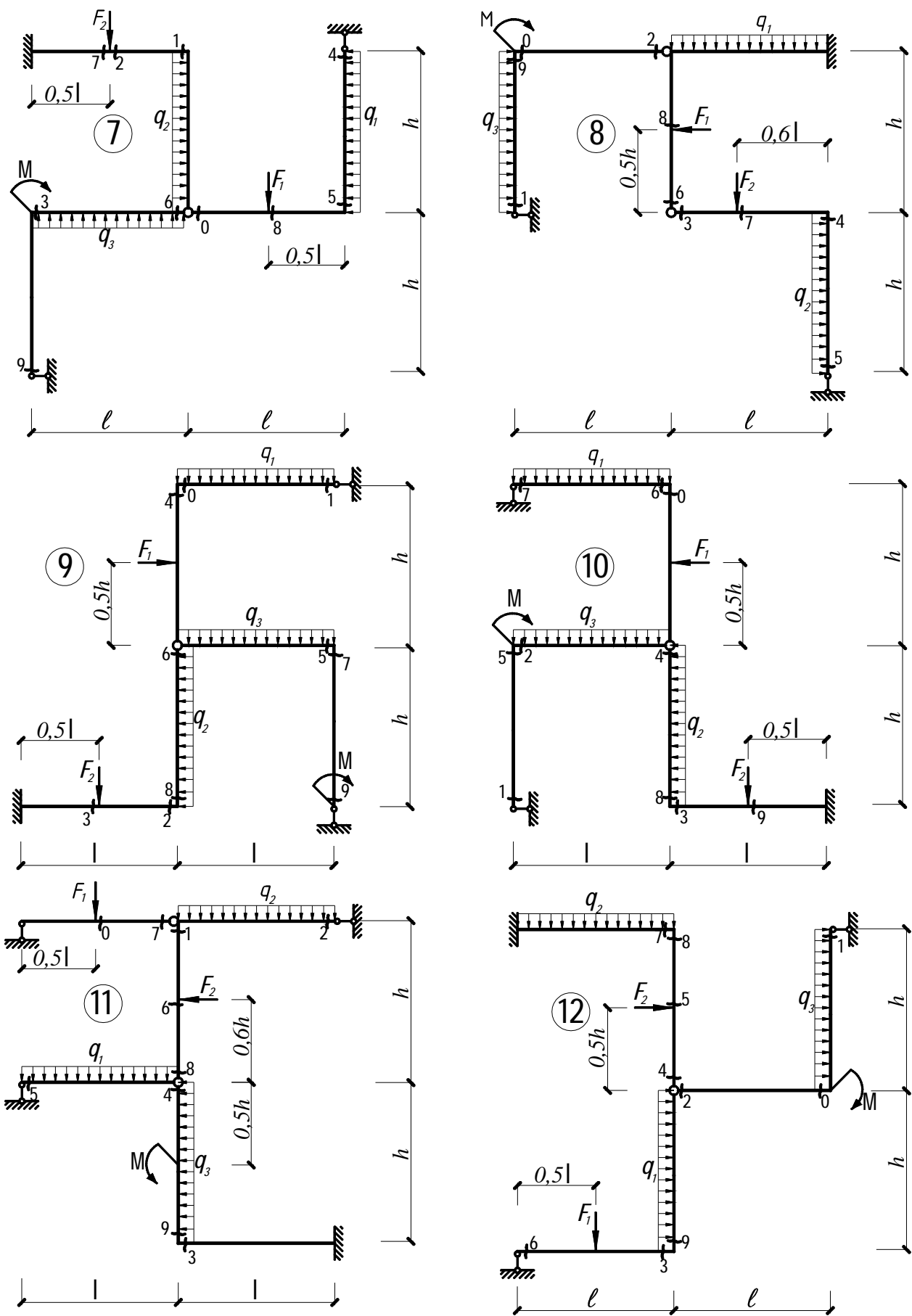


Рис. 2 – Розрахункові схеми рам

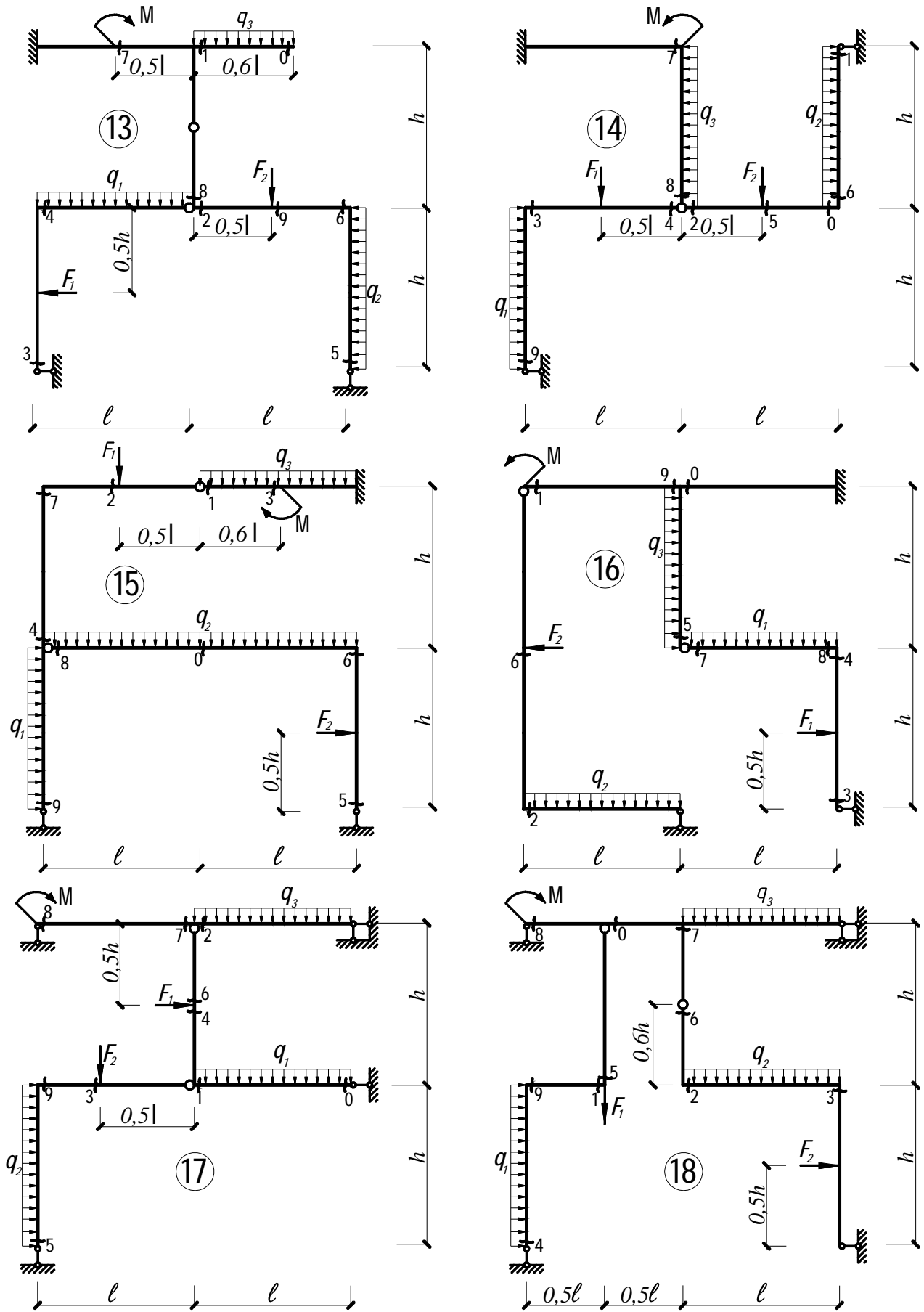


Рис. 2 – Розрахункові схеми рам

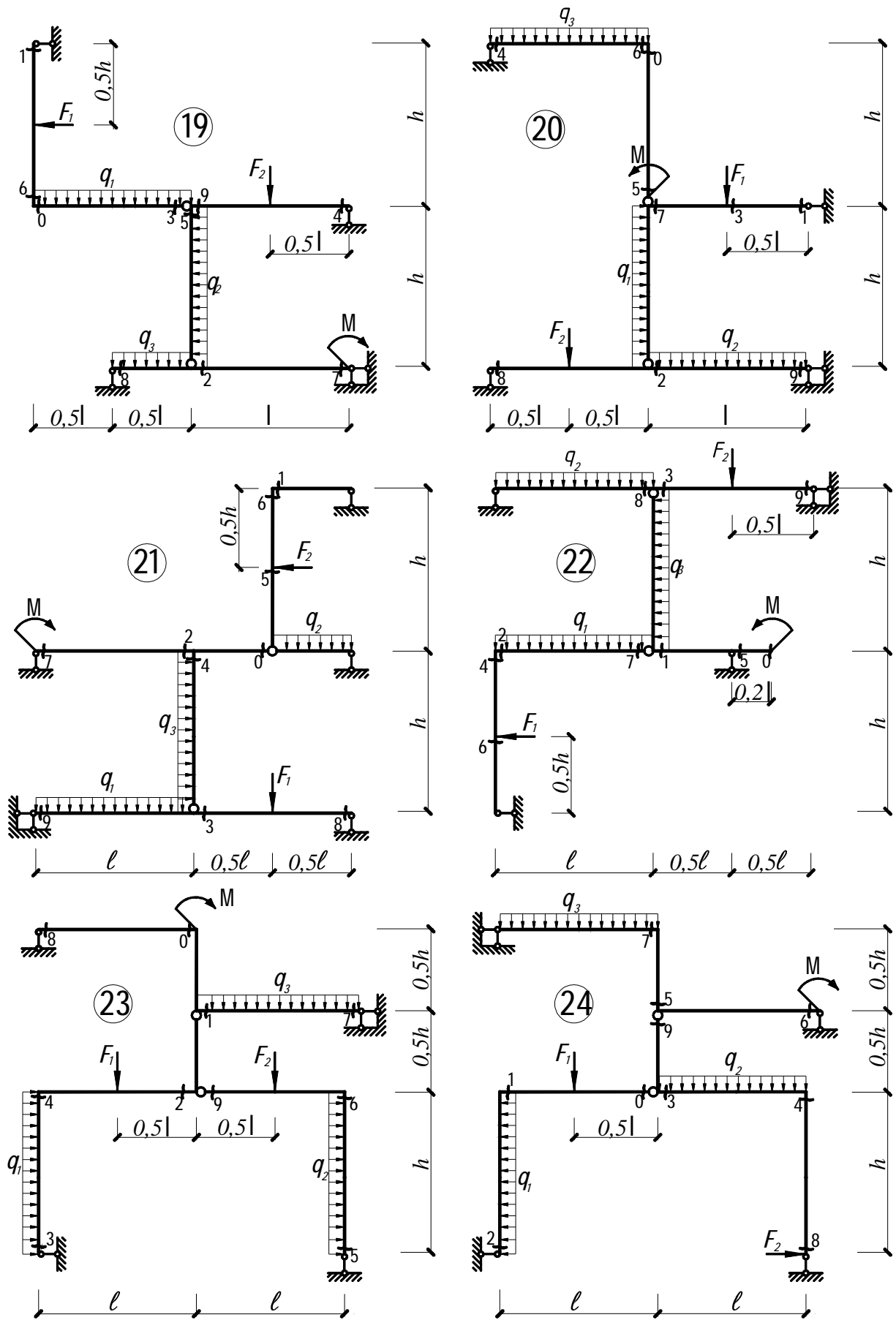


Рис. 2 – Розрахункові схеми рам

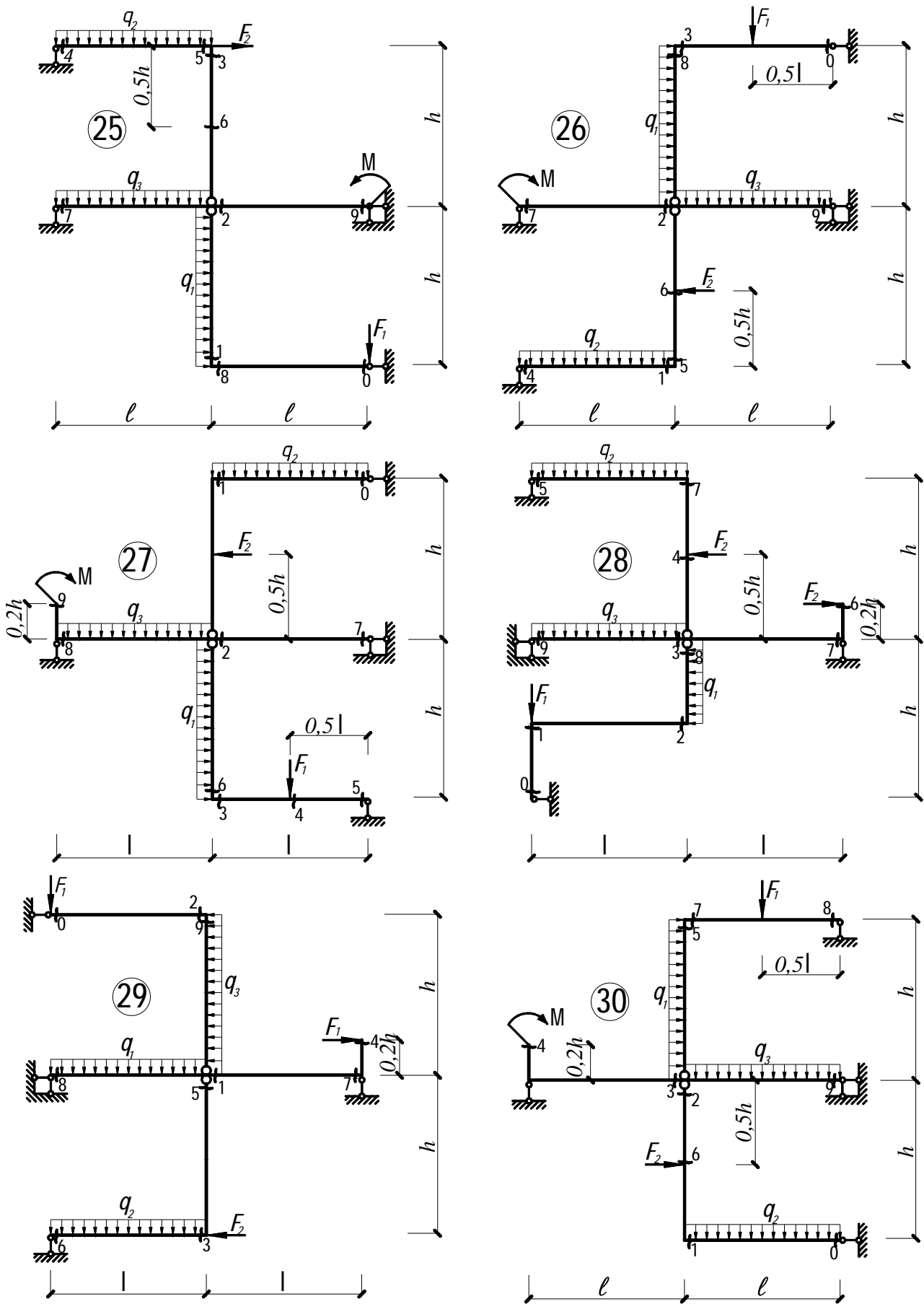


Рис. 2 – Розрахункові схеми рам

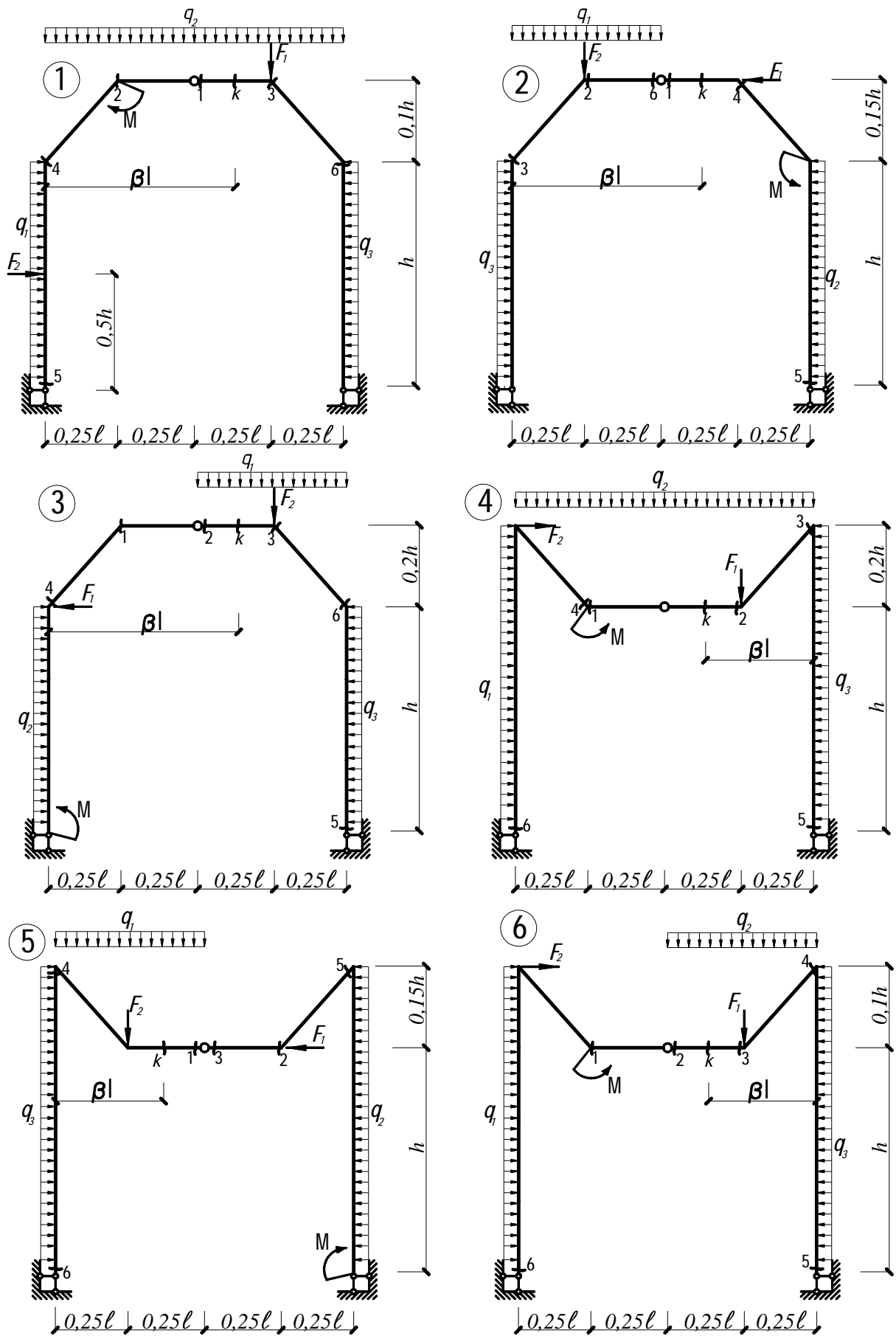


Рис. 3 – Розрахункові схеми тришарнірних рам

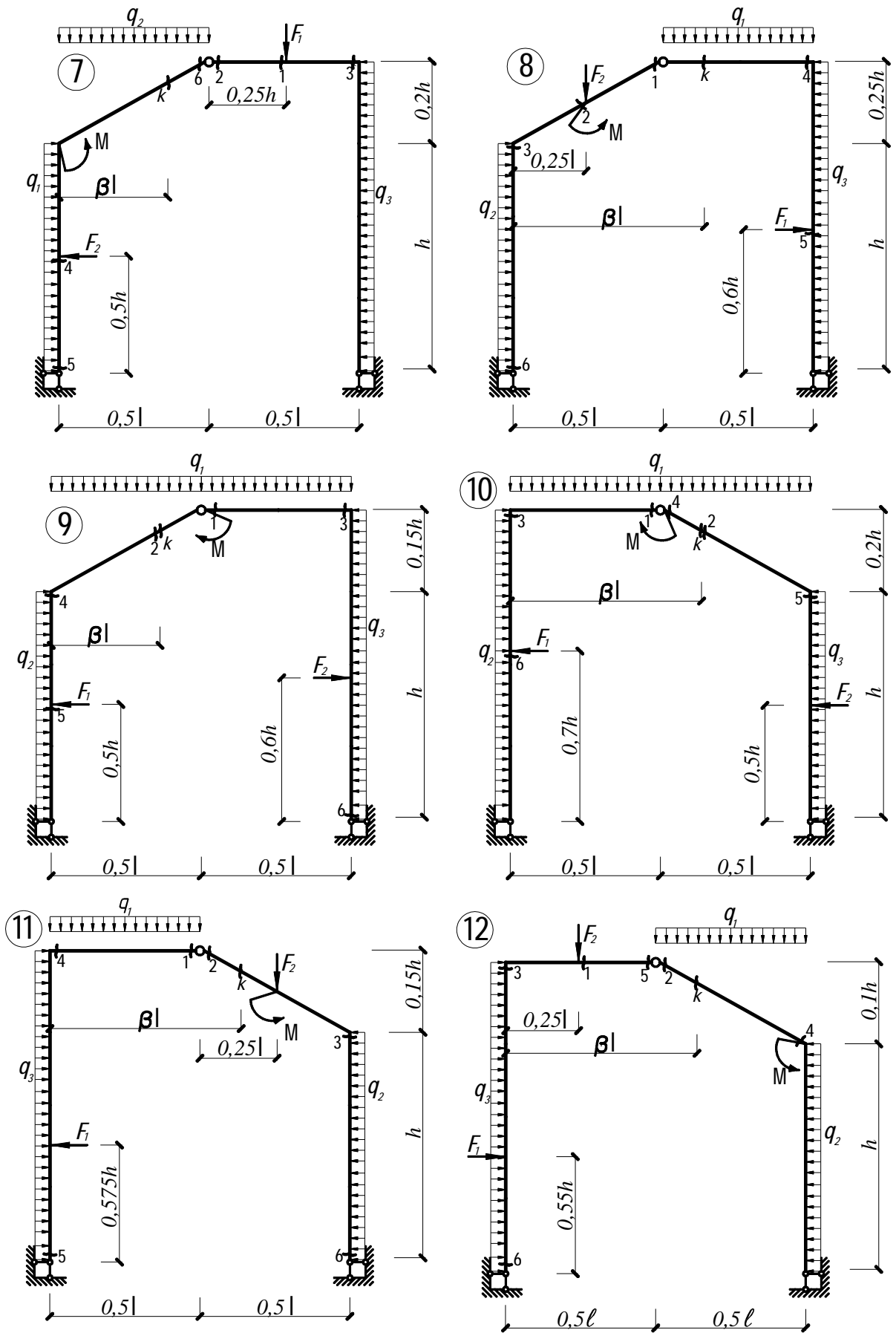


Рис. 3 – Розрахункові схеми тришарнірних рам

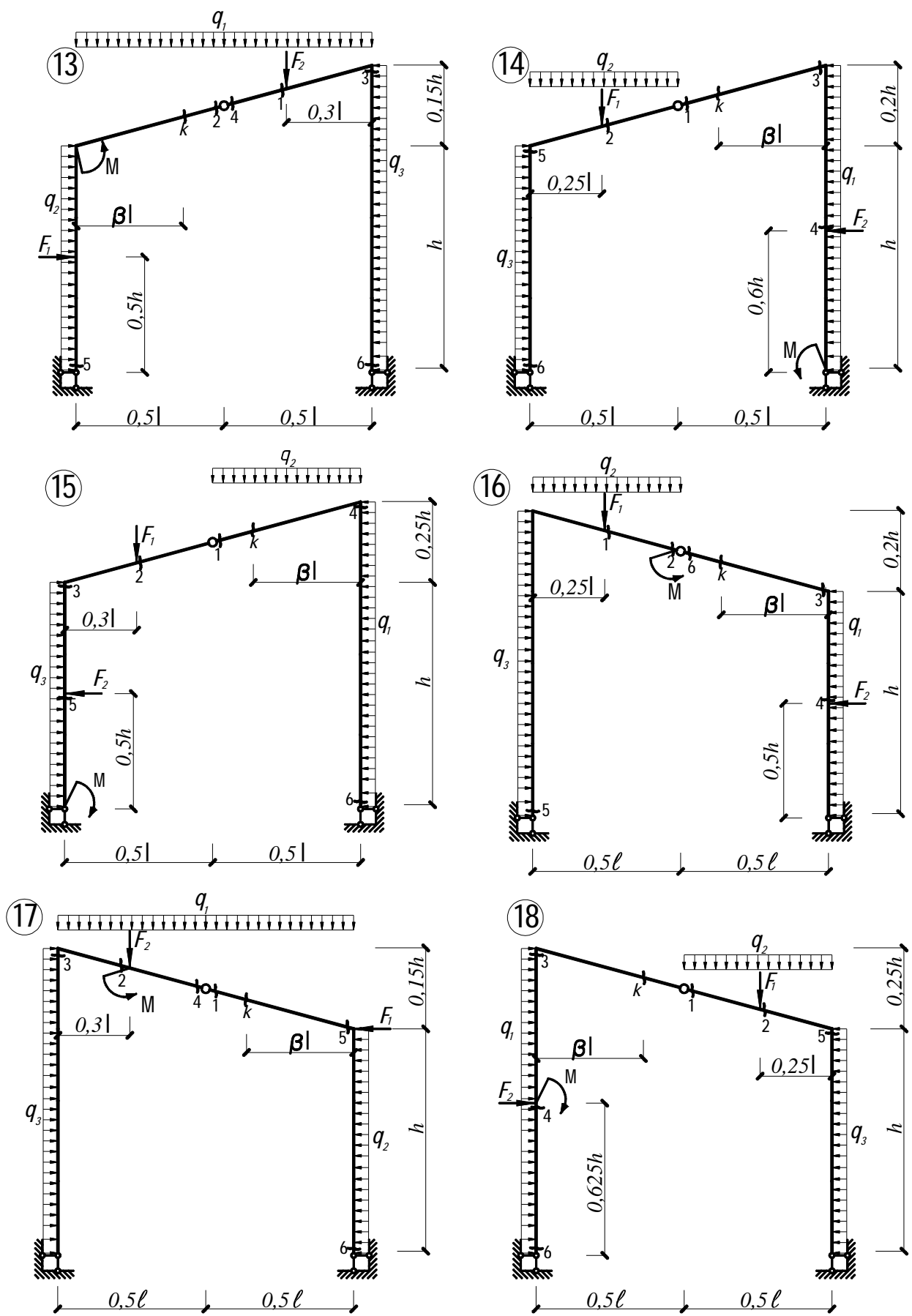


Рис. 3 – Розрахункові схеми тришарнірних рам

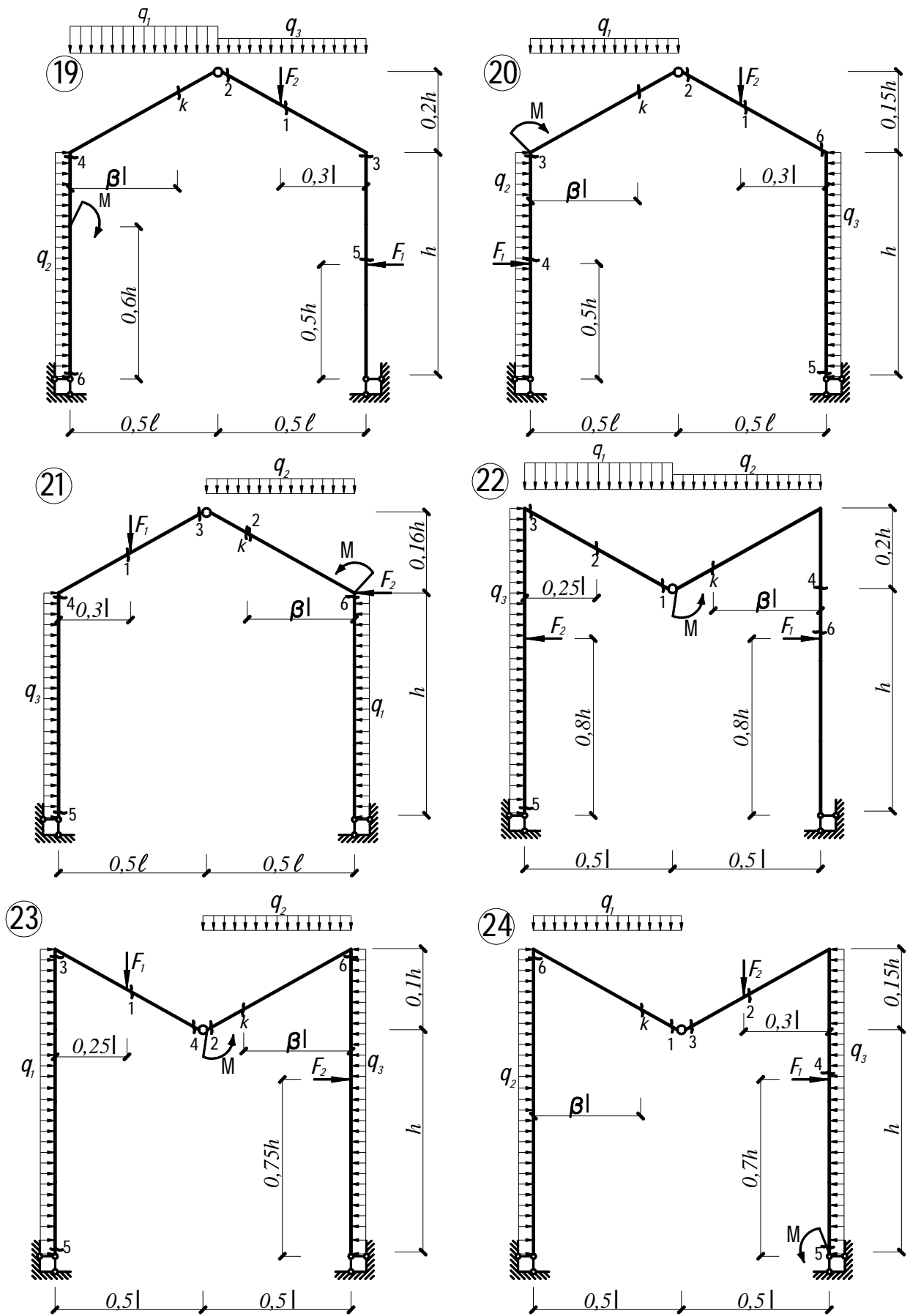


Рис. 3 – Розрахункові схеми тришарнірних рам

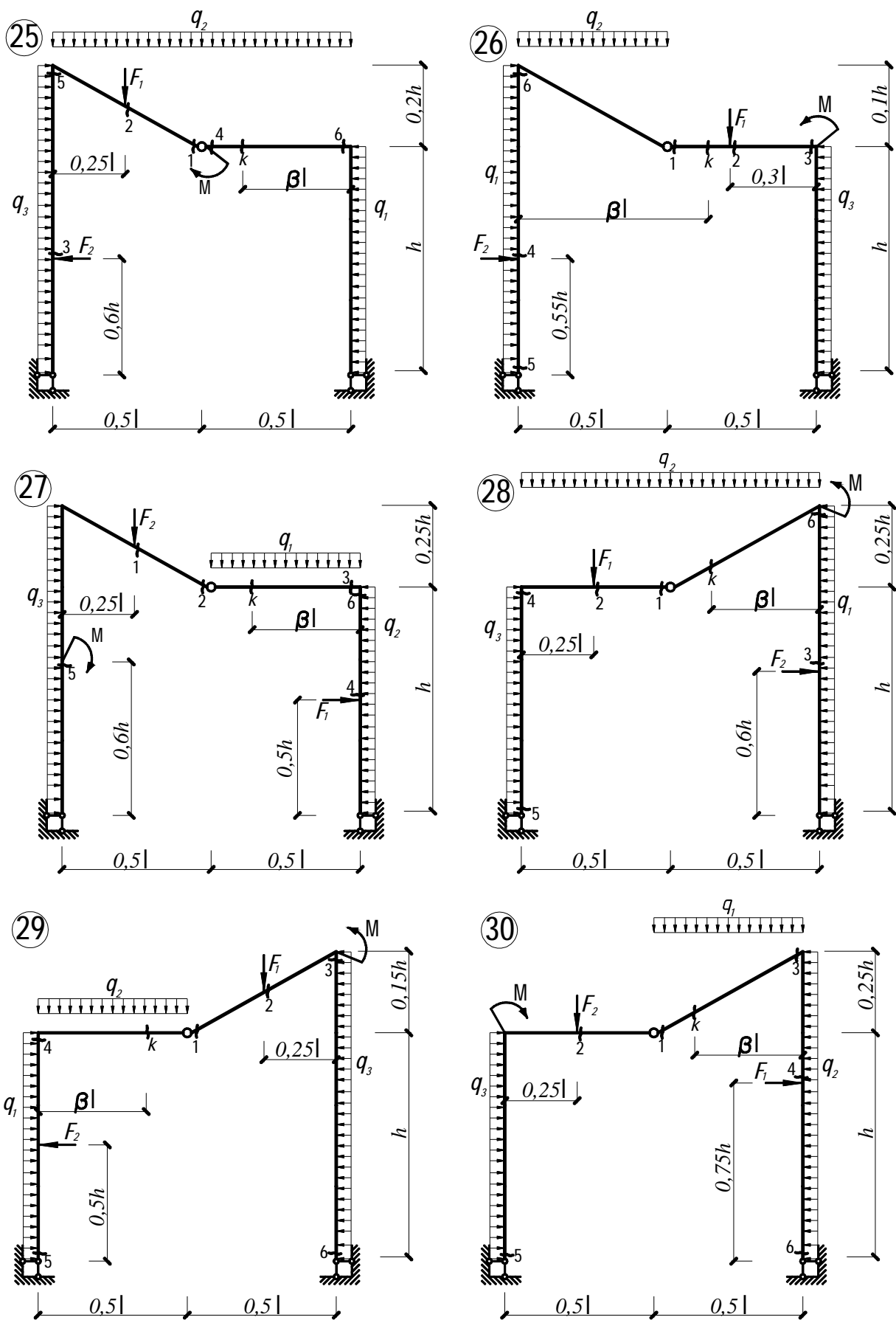


Рис. 3 – Розрахункові схеми тришарнірних рам

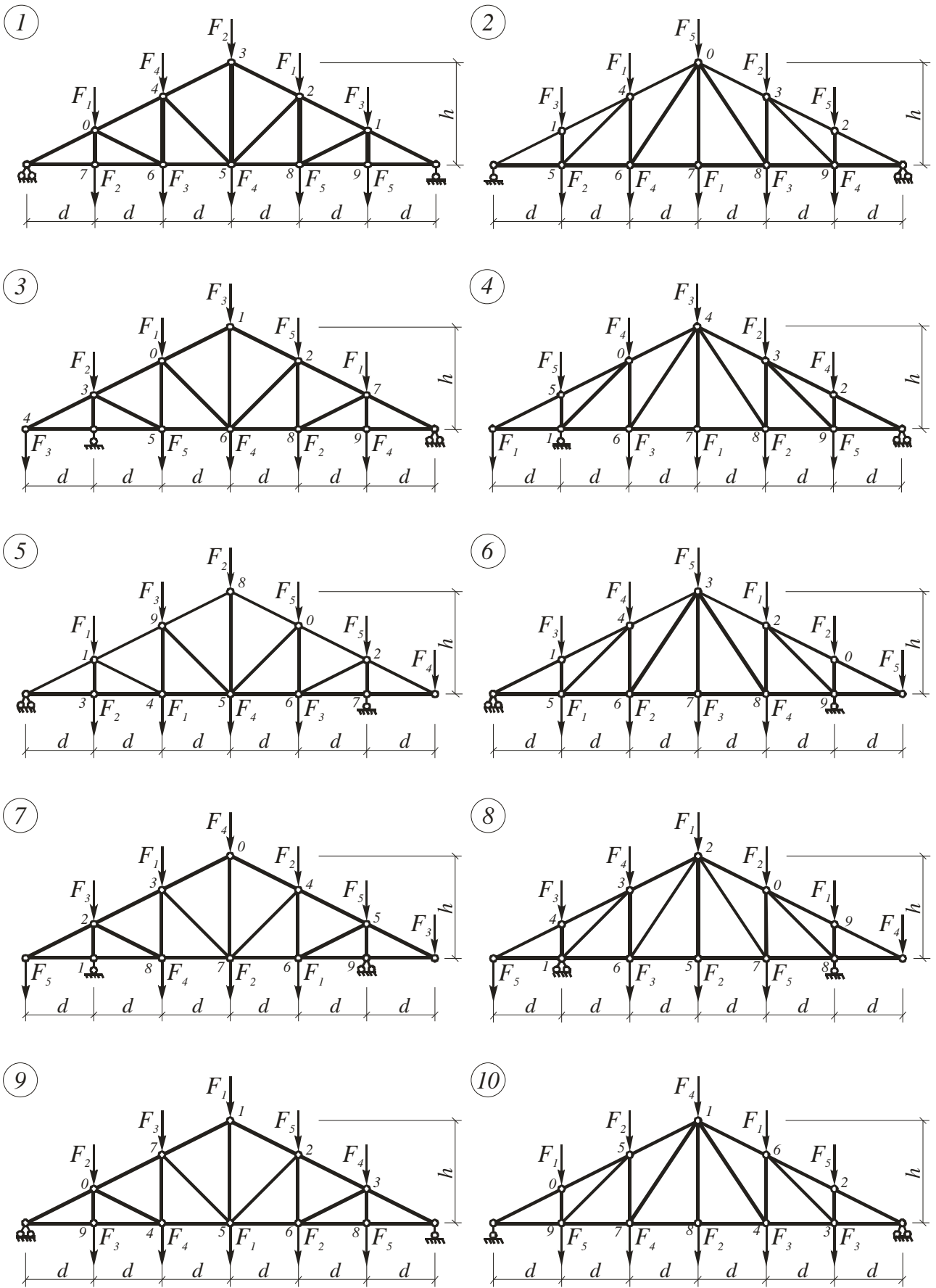


Рис. 4 – Розрахункові схеми ферм

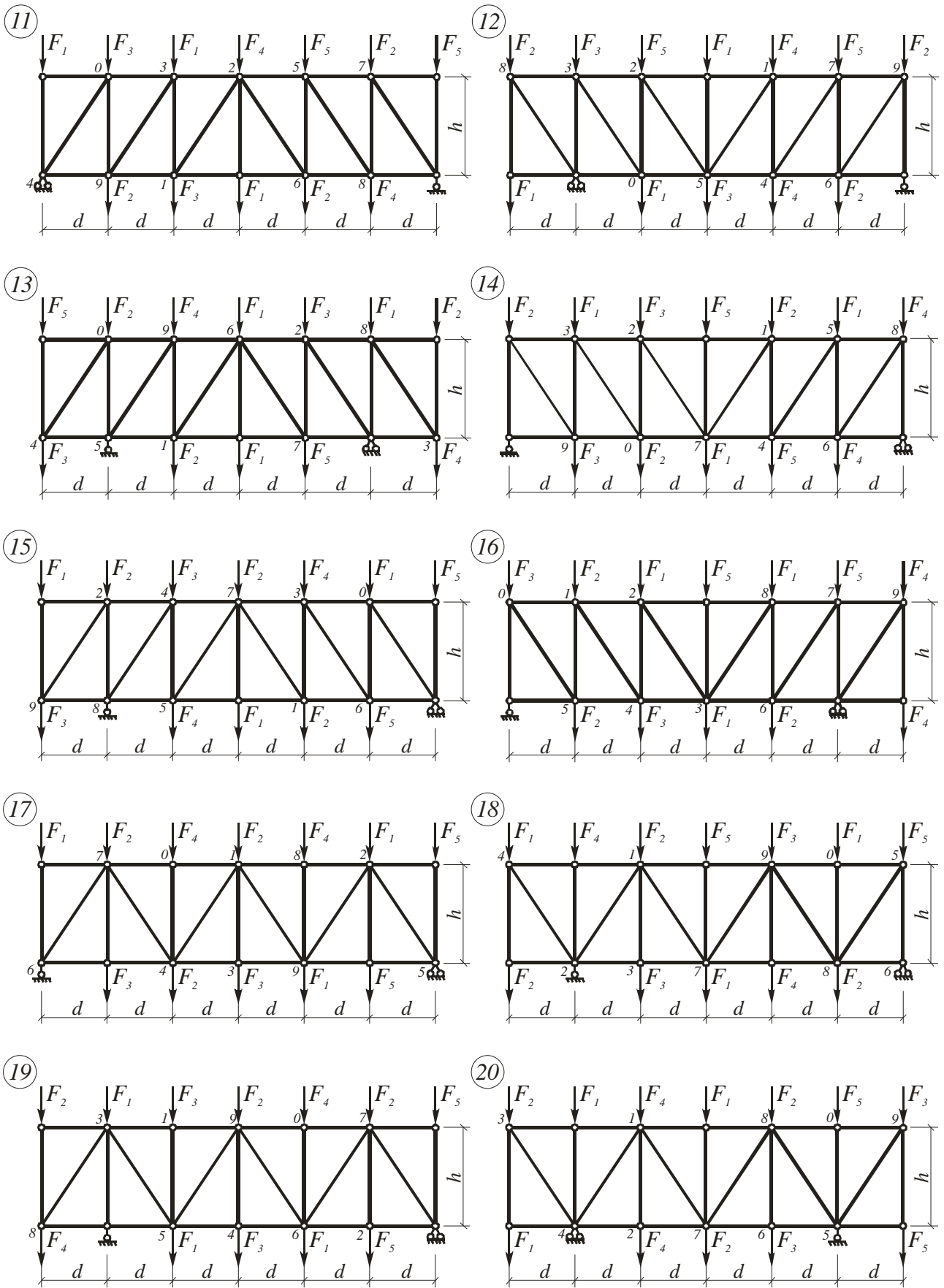


Рис. 4 – Розрахункові схеми ферм

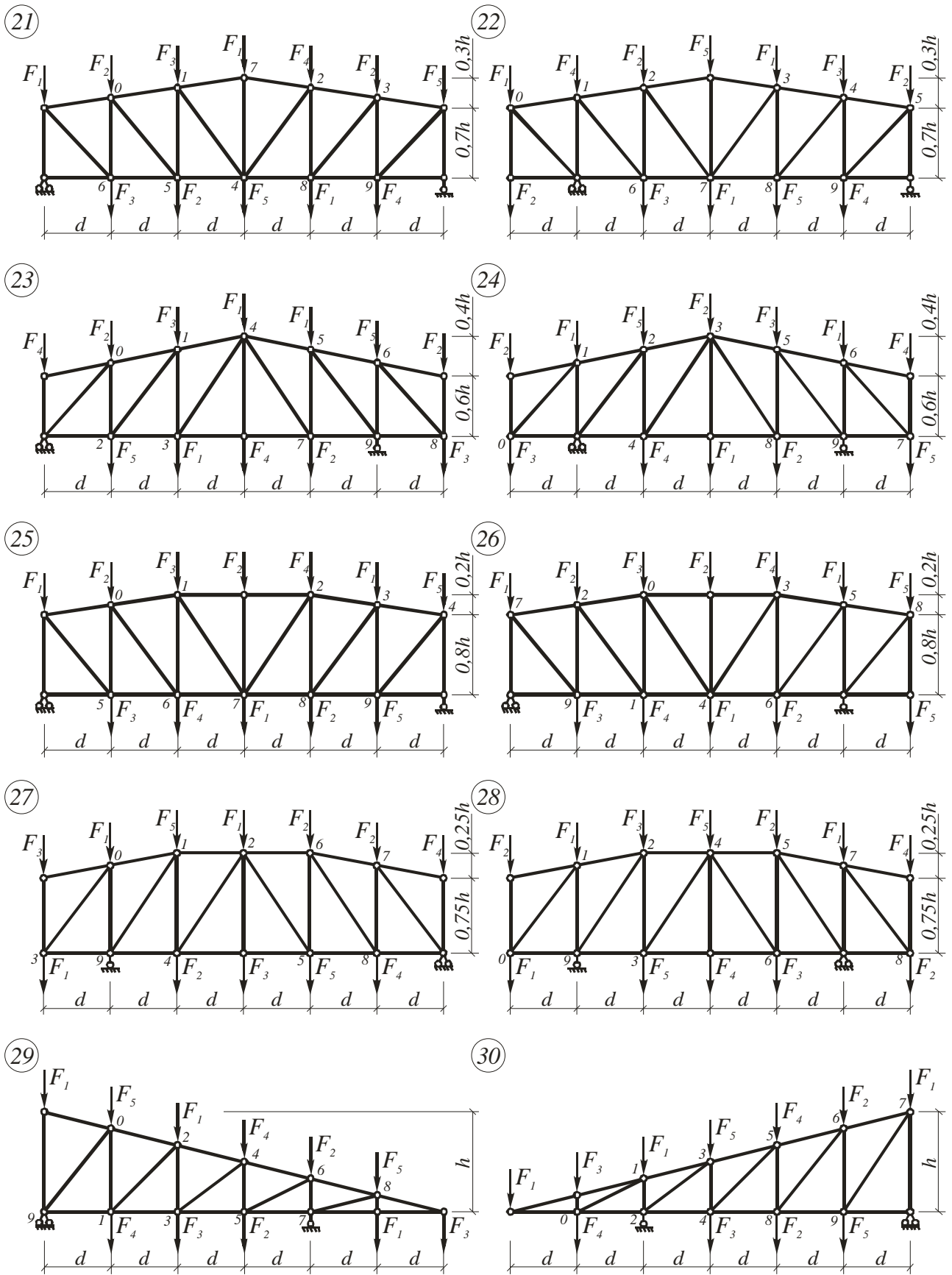


Рис. 4 – Розрахункові схеми ферм

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку багатопрогінної балки

Перша цифра шифру	l_1	c		Друга цифра шифру	l_2	a	F_3	F_4		F_5	F_6	Третя цифра шифру		l_3	e	F_1	F_2	q_1	q_2	Лінії впливу в перерізі
		m						m	kH			m	kH							
1	9	1	1	1	6	2	50	40	0	0	0	1	10,5	2,3	60	0	0	20	1,5	
2	8	1,2	2	2	7	1,2	0	0	30	40	0	2	9	2	0	50	16	0	0,9	
3	8,5	1,1	3	3	10	2,2	40	50	0	0	0	3	7	1,8	60	0	0	18	2,8	
4	7	0,9	4	4	9,5	1,9	60	50	0	0	0	4	10	1,7	0	30	10	0	3,7	
5	7,5	0,8	5	5	8,5	1,5	40	60	0	0	0	5	8,5	1,5	40	0	0	22	4,6	
6	6	0,7	6	6	9	1,6	0	0	60	40	0	6	6,5	2,1	0	45	14	0	0,7	
7	6,5	0,8	7	7	7,5	1,7	30	20	0	0	0	7	6	1,6	50	0	0	24	1,8	
8	9,5	0,9	8	8	6,5	2,4	0	0	40	30	0	8	7,5	2,2	0	46	18	0	3,6	
9	10,5	1,4	9	9	8	2,1	0	0	40	50	0	9	8	1,9	38	0	0	12	4,5	
0	10	1,3	0	0	10,5	2,3	0	0	50	40	0	0	9,5	2,4	0	64	8	0	2,9	

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку багатодискової рами

Перша цифра шифру	l	F_1	q_1	Друга цифра шифру		h	F_2	q_2	Третя цифра шифру		M	q_3
				kH	$kH/м$				m	$kH/м$		
1	6	55	0	1	1	3	0	25	1	20	0	
2	10	0	10	2	2	3,6	60	0	2	0	15	
3	7	40	0	3	3	5,5	0	18	3	30	0	
4	6,5	0	20	4	4	4,6	50	0	4	0	20	
5	8	35	0	5	5	6	0	10	5	40	0	
6	7,5	0	15	6	6	4,5	45	0	6	0	18	
7	9	50	0	7	7	5,8	0	12	7	50	0	
8	8,5	0	16	8	8	4	40	0	8	0	25	
9	9,5	60	0	9	9	3,5	0	20	9	60	0	
0	5,5	0	25	0	0	5	48	0	0	0	16	

Таблиця 3

Вихідні дані для розрахунку тришарнірної рами

Перша цифра шифру	<i>l</i> м	F₁	q₁	Друга цифра шифру	<i>h</i> м	F₂	q₂	Третя цифра шифру	q₃	M	b
		кН	кН/м			кН	кН/м				
1	6	50	0	1	4	40	0	1	10	0	0,3
2	7	0	20	2	4,2	0	20	2	0	50	0,4
3	8	60	0	3	4,3	30	0	3	12	0	0,6
4	9	0	16	4	4,5	0	14	4	0	40	0,7
5	10	40	0	5	5	50	0	5	0	60	0,8
6	11	0	10	6	6	0	10	6	0	65	0,2
7	12	30	0	7	4,8	60	0	7	0	45	0,4
8	6,6	0	18	8	5,5	0	18	8	20	0	0,3
9	7,6	46	0	9	5,4	46	0	9	0	32	0,7
0	8,8	0	12	0	5,8	0	16	0	0	55	0,6

Таблиця 4

Вихідні дані для розрахунку плоскої ферми

Перша цифра шифру	<i>d</i> м	F₁	F₂	Друга цифра шифру	<i>h</i> м	F₃	F₄	Третя цифра шифру	F₅	Номер вузла визначення зусиль і побудови лінії впливу в стрижнях ферми
		кН	кН			кН	кН			
1	3,2	0	30	1	2,5	25	0	1	20	0
2	2,6	20	0	2	2,7	0	30	2	30	9
3	3,4	0	25	3	2	35	0	3	25	8
4	2,8	24	0	4	3	0	40	4	40	2
5	3	0	22	5	2,6	32	0	5	36	7
6	2,4	26	0	6	2,2	0	34	6	28	4
7	3,6	0	28	7	2,9	20	0	7	32	3
8	2,2	32	0	8	2,3	0	26	8	24	6
9	3,8	0	35	9	2,8	28	0	9	22	1
0	4	34	0	0	2,4	0	36	0	35	5

Таблиця 5

Вихідні дані для обчислення переміщень

Перша цифра шифру	У перерізі багатопрогінної балки		Друга цифра шифру	У перерізі багатодискової рами			Третя цифра шифру	У перерізі тришарнірної рами		
	вертикальне	кут повороту		вертикальне	горизонтальне	кут повороту		вертикальне	горизонтальне	кут повороту
1	-	9	1	0	-	-	1	1	-	-
2	1	-	2	-	4	-	2	-	3	-
3	-	5	3	-	-	7	3	-	-	5
4	0	-	4	1	-	-	4	2	-	-
5	-	7	5	-	5	-	5	-	4	-
6	2	-	6	-	-	8	6	-	-	6
7	-	6	7	2	-	-	7	2	-	-
8	4	-	8	3	-	-	8	-	4	-
9	-	8	9	-	6	-	9	1	-	-
0	3	-	0	-	-	9	0	-	-	5