

Н.Н. АНОХИН

ҚУРИЛИШ

МЕХАНИКАСИДАН

МИСОЛ ВА МАСАЛАЛАР

1 - ҚИСМ

СТАТИК АНИҚ СИСТЕМАЛАР

Фарғона - 2009

Н.Н. АНОХИН

ҚУРИЛИШ

МЕХАНИКАСИДАН

МИСОЛ ВА МАСАЛАЛАР

1 - ҚИСМ

СТАТИК АНИҚ СИСТЕМАЛАР

ЎҚУВ ҚЎЛЛАНМА

ББК 38.112

А69

УДК 624.04

Р е ц е н з е н т л а р: Москва коммунал хўжалик ва қурилиш институтининг қурилиш механикаси ва эластиклик назарияси кафедраси (кафедра муdiri техн. фан. доктори, проф. *Н.В. Колкунов*); РААСН мухбир аъзоси, техн. фан. доктори, проф. *Н.Н. Шапошников*

**Н.Н.Анохин Қурилиш механикасидан мисол ва масалалар,
I - қисм. Статик аниқ системалар: Ўқув қўлланма, 2002, 388 бет**

Техника фанлари номзодлари, доцентлар Одилжон Ходиматов ва Абдурахим Дўсматовлар таржимаси.

Ўқув қўлланмаси, қурилиш механикаси фанининг биринчи қисмидан иборат бўлиб, олий ўқув юртларининг қурилиш мутахассисликлари дастури асосида тайёрланган.

Барча параграфлар керакли назарий маълумотларни баён қилишдан бошланади, сўнгра мавзулар бўйича танланган 125 та типовой масалаларни кенгайтирилган ечимлари ҳамда мустақил ечиш учун 575 та масала жавоблари билан келтирилган.

Қўлланма талабалар учун мустақил ҳисоб топшириқларини бажариш ва имтиҳонларга тайёрланишда, бундан ташқари ўқитувчилар томонидан статик аниқ текис стерженли системаларни ҳисоблаш бўйича амалий машғулот дарсларини ўтказишда фойдали бўлади.

This manual, which is first oart of the course, is written according to the courze of structural mechanics for construction majors and consists of 700 fasks. Each paragraph starts with the theoretical material then comes some amount of the solved tacks usually offered for this material and the explications and tasks for students work with answers.

This manual will be of great use for the students who will work themselves, solving design tasks and preparing for the examination. Also it can be offered for the professors as a material for the laboratory works on static determination plane bar system.

This book is found on the big teaching experience in the Moscow State Construction University (pr. MISI).

Учебное пособие, которое является первой частью курса строительной механики, разработано в соответствии с программой для строительных специальностей вузов.

Каждый параграф начинается с изложения соответствующего теоретического материала, затем приводятся с подробными решениями 125 характерных типовых примеров по теме и 575 задач для самостоятельного решения, к которым даны ответы. 336 с.

Пособие будет полезно студентам для самостоятельной работы при выполнении расчетных заданий и подготовке к экзаменам, а также может быть использовано преподавателями при проведении практических занятий по расчету статически определимых плоских стержневых систем.

В основу книги положен многолетний опыт преподавательской работы автора в Московском государственном строительном университете (бывший МИСИ).

ISBN N 5-93093-024-4

© Анохин Н.Н., 1999 й.

© АСВ нашриёти, 1999й.

СЎЗ БОШИ

Профессор Н.Н.Анохин томонидан ўқувчиларга тақдим этилаётган ўқув қўлланмаси текис статик аниқ стерженли системаларга бағишланган бўлиб, муаллифнинг Москва давлат қурилиш университети (МГСУ) “Қурилиш механикаси” кафедрасида кўп йиллик ўқитувчилик тажрибасига таяниб ёзилган, муболағасиз ноёб нашр ҳисобланади.

Профессор Г.К.Клейн таърири остида «Қурилиш механикаси фанидан амалий машғулот учун қўлланма» 1980 йили, қарийб йигирма йил аввал ёзилган эди. Шунинг учун қаралаётган нашр замонавий ҳисобланиб, қурилиш механикаси бўйича ўқув адабиётларидаги камчиликларни тўлдиради.

Муаллиф 700 масалани жавоблари билан келтиради, булардан 125 масаланинг кенгайтирилган ечимлари берилган бўлиб, талабаларга ўхшаш масалаларни мустақил ечиш имконини беради.

Муаллиф томонидан қаралган масалалар қурилиш механикаси курсининг “Иншоотлар статикаси” бўлимида бажариладиган ҳисоб - график топшириқларига тегишли барча саволларга жавоб беради.

Бироз олдинроқ нашр қилинган дарслик “Стерженли системаларнинг қурилиш механикаси асослари” (муаллифлар - проф. Н.Н.Леонтьев ва бошқалар) ва Н.Н. Анохиннинг қўлланмаси МГСУ ва бошқа қурилиш мутахассисликлари бўлган олий ўқув юртлари талабаларига махсус мослаштирилган, қурилиш механикаси бўйича бир бутун адабиётлар бирикмасини ташкил қилади.

Қўлланма нафақат талабаларда, улар учун аталган бўлсада, балки қурилиш механикаси ўқитувчиларида ҳам катта қизиқиш уйғотади, уларга барча синов шакллари масалаларини тайёрлашда ёрдам беради.

Нашрнинг қийматини оширувчи алоҳида омил сифатида муаллиф қўллаган материалларни баён қилиш услубини келтириш мумкин. Бунга асосан, муаллиф ҳар бир параграфнинг бошланишида фанни ўзлаштиришни енгиллаштириш мақсадида назарий материалларни келтиради. Талаба асосан ана шу қўлланмага мўлжал олиши мумкин, у ёки бу саволни чуқурроқ ўрганиш зарурати туғилганда дарсликдан фойдаланиш керак бўлади.

Ўйлайманки, проф. Н.Н.Анохин томонидан пухталиқ ва ихлос билан бажарилган иш қурилиш механикасини ўрганувчилар ёки ўз фаолияти шу фанга боғлиқ бўлган барча инсонларга катта фойда келтиради.

**РИА академиги,
техника фанлари доктори, проф.**

Д.Н. Соболев

МУАЛЛИФДАН

«Қурилиш механикаси» курси бўйича ўқув қўлланма уч қисмдан иборат қилиб нашрдан чиқариш режалаштирилган: статик аниқ системалар, статик ноаниқ системалар, ясси стерженли системалар устуворлиги ва динамикаси.

Қўлланманинг биринчи китоби ясси статик аниқ системаларга бағишланади. Нашр, қурилиш мутахассисликлари учун олий ўқув юртлари дастури асосида ишлаб чиқилган бўлиб, МГСУнинг (собик МИСИ) қурилиш механикаси кафедрасида ушбу курснинг ўқитишнинг кўп йиллик тажрибасидан фойдаланилди.

Қўлланманинг биринчи қисмида иншоотлар ҳисоблаш схемаларининг кинематик таҳлили, статик аниқ системаларни доимий ва ҳаракатланувчи (силжувчи) юклар таъсирига ҳисоблаш усуллари, шундай системаларда кўчишларни аниқлаш баён этилган.

Келтирилган 700 масаладан 125 тасининг кенгайтирилган ечимлари, қолганларининг фақат жавоблари берилган. Ҳар бир параграф мавзу бўйича асосий назарий саволларни ёритишдан бошланади. Ҳар бир бобнинг сўнгида ўз-ўзини назорат қилиш саволлари келтирилган.

Китобдаги масала ва уларнинг жавобларига учталик рақамлаш қабул қилинган: биринчи рақам бобнинг тартиб рақамини, иккинчиси шу бобнинг параграф рақамини, учинчиси шу параграф масаласи (жавоби) ёки расмнинг тартиб рақамини кўрсатади. Формула ва масала намуналари учун иккиталик рақамлаш қабул қилинган: биринчи рақам бобнинг тартибини, иккинчиси шу боб формулалари ёки масала намуналарини тартиб рақамини кўрсатади.

Қўлёмани ўқиш ва тақриз қилишда қимматли таклиф ва мулоҳазалари учун, муаллиф тақризчилар - проф. Н.В. Колкуновга, Россия Архитектура Қурилиш фанлари Академиясининг мухбир аъзолари Н.Н.Шапошниковга, илмий редактор - Н.Н. Леонтьевга, Россия Мухандислик Академиясининг академиги Д.Н. Соболевга, проф. М.Г. Ванюшенковга, ҳамда қўлланмани ёзиш мобайнида ўз маслаҳатлари билан китоб мазмунини яхшилашга ҳисса қўшган кафедра аъзоларига миннатдорчилик билдиради.

Муаллиф, техника фанлари доктори, проф. А.В. Дукартга ва РОСКОНИТСТРОЙ Акционерлик Жамияти бош директори Д.М. Бениаминовга ушбу нашрни чиқаришда кўрсатган иқтисодий ёрдамлари учун, чуқур миннатдорчилик билдиради.

Қўлланманинг мазмуни бўйича таклиф ва мулоҳазаларини қуйидаги адресга йўллаган ўқувчиларга муаллиф ўз миннатдорчилигини билдиради: 129337, Москва, Ярослав шоссеси 26 уй, «Қурилиш механикаси» кафедраси.

ТАРЖИМОНЛАРДАН

Ушбу таржиманинг асл нусхаси Москва Давлат Қурилиш Университетида (аввалги МИСИ) тажрибали профессор Н. Н. Анохин томонидан ёзилган бўлиб, 55800200 «Бино ва иншоотлар қурилиши» йўналиши бўйича таҳсил олаётган талабаларга мўлжалланган. Қўлланмадан яна қурилиш соҳасининг бошқа йўналишлари: «Касбий педагогик тайёргарлик», «Геодезия ва картография», «Мухандислик комуникациялари қурилиши», «Шаҳар ва қишлоқ қурилиши» каби бошқа бир қанча йўналиш талабалари ҳам фойдаланишлари мумкин.

Китоб Москвада ёзилган бўлишига қарамай, барча регионларда қўлланилмоқда. Ушбу таржимага ўхшаш қўлланма (Одилхўжаев Э. А ва бошқалар «Қурилиш механикасида мисол ва масалалар». Тошкент, «Ўқитувчи», 1974) анча олдин нашр этилиб, бундай китобларнинг ўзбек тилида камлигини эътиборга олсак, таржиманинг долзарблиги кўзга ташланади.

Қўлланманинг бобларида ҳисоблаш схемаларининг кинематик таҳлили, иншоотлардаги доимий ва ҳаракатланувчи юklar таъсиридаги зўриқишларни аниқлаш ҳамда статик аниқ системаларда кўчишларни ҳисоблаш мавзуларига доир масалалар ва уларнинг кенгайтирилган ечимлари берилган. Шунингдек, талабаларнинг мустақил ишлашлари учун имконият сифатида қатор масалалар ва мисоллар берилган. Кўрсатилган масалаларнинг жавоблари китобнинг охирида келтирилган.

Қўлланма талабаларнинг ҳисоб-график ишларини ва мустақил вазифаларини бажаришда, бундан ташқари қурилиш механикаси масалалари билан шуғулланаётган мухандисларга, шу билан биргаликда ушбу фан ўқитувчиларига амалий машғулотларда ва синов масалаларини тузишда ёрдам беради.

Ўйлаймизки, профессор Н.Н. Анохиннинг кенгайтирилган пухта ҳолдаги келтирган қатор масалалари ва уларнинг ечимлари «Қурилиш механикаси» фанини ўрганувчиларга етарли даражада фойдали бўлади ва катта қизиқиш уйғотади.

Айрим бобларни тайёрлашда кўрсатган техник ёрдами учун Заниддин Сиддиқовга таржимонлар тарафидан миннатдорчилик билдирилади.

Қўлланма ва унинг таржимаси ҳақидаги фикр-мулоҳазаларингизни куйидаги манзилга юборишларингизни сўраймиз:

712028, Фарғона шаҳри, Фарғона кўчаси 86, Фарғона политехника институти, «Амалий механика ва материаллар қаршилиги» кафедраси.

АСОСИЙ ШАРТЛИ БЕЛГИЛАР

W - эркинлик даражаси сони, ички кучларнинг ҳақиқий бажарган иши	A_r - горизонтал (оғма) стерженнинг кўндаланг кесим майдони
V - системаларнинг ўзгарувчанлик даражаси, ташқи кучларнинг ҳақиқий иши	$A_{ич}$ - ички кучлардан мумкин бўлган иш
D - дисклар сони	J - кўндаланг кесимнинг инерция моменти
III - оддий шарнирлар сони	J_v - вертикал стержен кўндаланг кесимининг инерция моменти
C_m - таянч стерженлари сони	J_r - горизонтал (оғма) стержен кўндаланг кесимининг инерция моменти
U - ферма тугунлари сони	$V_A, V_B, V_C \dots - A, B, C \dots$ таянчларда пайдо бўладиган реакцияларнинг, вертикал ташкил этувчилари. Юқорига йўналган реакциялар мусбат ишорали деб қабул қилинади
C - ферма стерженлари сони	$H_A, H_B, H_C \dots - A, B, C \dots$ таянчларда пайдо бўладиган реакцияларнинг горизонтал ташкил этувчилари. Ўнг томонга йўналган реакциялар мусбат ишорали деб қабул қилинади
K - шарнирсиз ёпиқ контурлар сони	$H(H_m)$ - керувчи реакция (тортқидаги зўриқиш). Чўзувчи зўриқиш мусбат ишорали деб қабул қилинади
L - ортиқча боғланишлар сони	U - потенциал энергия
q - текис ёйилган юк	Ω - эпюралар майдони
F - йиғиқ куч	ω - таъсир чизиқлари майдони
m - йиғиқ момент	α - чизиқли кенгайиш коэффициенти
P - умумлашган куч	$\varphi, c, c_1, c_2 \dots$ - таянчларнинг берилган силжишлари
M - эгувчи момент	$r, r_1, r_2 \dots$ - эластик мойил таянчларнинг бикирлик коэффициентлари
Q - кесувчи куч	R - айлана радиуси
N - бўйлама куч	f - арканинг кўтарилиш баландлиги
$\bar{M}_i, \bar{Q}_i, \bar{N}_i$ - бирлик юкдан эгувчи момент, кесувчи ва бўйлама кучлар	
M_p, Q_p, N_p - ташқи юкдан эгувчи момент, кесувчи ва бўйлама кучлар	
E - эластиклик модули	
G - силжиш модули	
μ - кесимнинг шаклига боғлиқ бўлган, кўндаланг кесимда уринма кучланишларни нотекис тақсимланиш коэффициенти	
I - оралик узунлиги	
h - кўндаланг кесим баландлиги	
b - кўндаланг кесим эни	
A - кўндаланг кесим майдони, ташқи кучлардан мумкин бўлган иш	
A_v - вертикал стерженнинг кўндаланг кесим майдони	

M_K^0, Q_K^0 - арка оралиғига тенг, оддий балканинг K кесимидаги эгувчи момент ва кесувчи куч қиймати	$y_{KN} (y_{KN})$ - K ва N нукталарининг ўзаро вертикал яқинлашиши (мусбат ишорали) ёки узоқлашиши (манфий ишорали)
$F = 1$ - бирлик юк	Δ_{KN} - KN тўғри чизиги бўйлаб ўзаро яқинлашиш (мусбат ишорали) ёки ўзаро узоқлашиш (манфий ишорали)
$F_{кр}$ - критик юк (критик куч)	φ_{KN} - K ва N нукталарида кесимнинг ўзаро бурилиш бурчаги
$q_{экр}$ - текис ёйилган эквивалент юк	
$t = t_1 - t_2$ - стержен кўндаланг кесим баландлиги бўйича ҳароратнинг фарқи	
$t_0 = \frac{(t_1 + t_2)}{2}$ - стержен ҳолис ўқи бўйича ҳарорат	
t_1, t_2 - кесим чекка нукталаридаги ҳароратнинг ўзгариши	
$\frac{t_1}{t_2} = 0$ - узлукли чизик кесимнинг қайси томонидан ҳарорат ўзгаришини кўрсатади	
$\frac{t_1}{t_2}$ - тузилма элементи ташқи ва ички тоаларидаги ҳароратнинг ўзгариши	
$X_K(X_K)$ - K нуктанинг горизонтал кўчиши. Ўнг томонга кўчиш мусбат ишорали деб қабул қилинади	
$y_K(y_K)$ - K нуктанинг вертикал кўчиши. Юқорига кўчиш мусбат ишорали деб қабул қилинади	
Δ_K - K нуктанинг тўлиқ кўчиши, у қуйидаги формуладан топилади	
$\Delta_K = \sqrt{x_K^2 + y_K^2}$	
φ_K - K нуктада кесимнинг бурилиш бурчаги. Кесимнинг соат стрелкаси бўйича бурилиши мусбат ишорали деб қабул қилинади	
$X_{KN} (X_{KN})$ - K ва N нукталарининг ўзаро горизонтал яқинлашиши (мусбат ишорали) ёки узоқлашиши (манфий ишорали)	

1- БОБ. ИНШООТЛАР ҲИСОБЛАШ СХЕМАЛАРИНИНГ КИНЕМАТИК ТАҲЛИЛИ.

1.1-§.Текис стерженли системаларнинг эркинлик даражаси сонини аниқлаш ва уларнинг геометрик таркибини таҳлили. Оний ўзгарувчанлигини текшириш.

Иншоотларни ҳисоблашга киришдан олдин унинг ҳисоблаш схемасини тузиш зарур ва системанинг ёки унинг алоҳида қисмини қўзғалмаслиги ва геометрик ўзгармаслиги масаласини ҳал қилиш учун кинематик таҳлил қилинади. Бундан ташқари, унинг оний ўзгармаслиги (ўзгарувчанлиги) ни текшириш керак бўлади. Қисман бу саволга жавоб, ҳисоблаш схемаларини эркинлик даражалари сонини аниқлаш билан боғлиқ.

Ҳ и с о б л а ш с х е м а с и деб, ҳақиқий иншоотларни соддалаштирилган тасвири тушунилади. У иншоотларни юк остидаги ҳолатини аниқловчи асосий хусусиятларини ифодалайди, иккинчи даражали омилларни ҳисобга олмайди.

Ясси стерженли системаларнинг э р к и н л и к д а р а ж а с и деб, унинг ерга нисбатан текисликда олган ҳолатини аниқловчи бир-бирига боғлиқ бўлмаган геометрик параметрлар сонига айтилади.

Асосий таърифлар

Агар системанинг шакли, фақат уни ташкил этувчи элементларнинг деформацияси туфайли ўзгарса, г е о м е т р и к ў з г а р м а с система дейилади.

Агар система ўз шаклини уни ташкил этувчи элементларнинг деформацияларисиз ўзгартирса, г е о м е т р и к ў з г а р у в ч а н система дейилади.

Агар система элементларининг деформацияларисиз, унинг нуқталари чексиз кичик кўчишларга эришса, о н и й ў з г а р у в ч а н система дейилади. Кўчишлар тўхтаганидан сўнг у ўзгармас системага айланади.

Ўзларининг шакли ва ўлчамларини ўзгартирмайдиган мутлақ бикир элемент ёки элементлар системаси д и с к дейилади. Диск текисликда уч эркинлик даражасига эга бўлади.

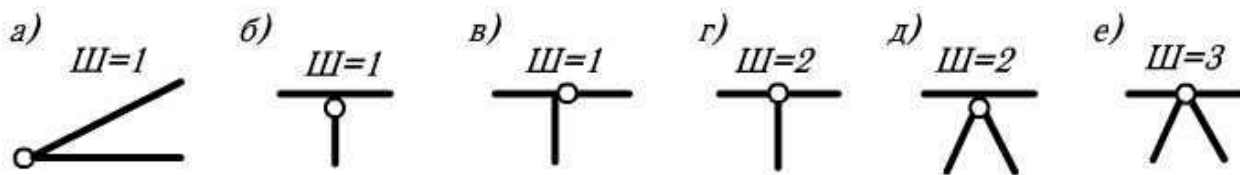
Чексиз узунликка эга бўлган диск е р дейилади.

Жисм ёки системаларнинг бир эркинлик даражасини чегараловчи қурилма к и н е м а т и к б оғ л а н и ш дейилади.

Боғланишлар сифатида шарнирлар, таянч стерженлари қўлланилади.

Икки дискни бирлаштирувчи ва икки кинематик боғланишга тенг кучли бўлган қурилма, ц и л и н д р и к о д д и й ш а р н и р дейилади (1.1.1, а...в-расм).

Уч ва ундан кўп дисклар к а р р а л и (м у р а к к а б) ш а р н и р г а бирлашади ва $n-1$ оддий шарнирга тенг кучли бўлади, бу ерда n - бирлаштирувчи дисклар сони (1.1.1, г...е- расм).



1.1.1- расм

Масалан, 1.1.1, а...д- расмларда кўрсатилган ҳолатларда шарнир учта диск (стерженлар)ни бирлаштиради ва унинг қиймат и $III=n-1=3-1=2$ га тенг, 1.1.1, е- расмда келтирилган ҳолат учун эса, $III=n-1=4-1=3$, бу ерда III - оддий (келтирилган) шарнирлар сони.

1.1.1, а,з,е -расмларда кўрсатилган шарнирлар т ў л и қ , 1.1.1, б,в,д расмларда кўрсатилган шарнирлар эса т ў л и қ б ў л м а г а н шарнирлар дейилади.

Шарнирли-стерженли системалар (фермалар) т у г у н и деб, икки эркинлик даражасига эга бўлган нуқтани тушунамиз.

Системалар эркинлик даражаси W ва таянч стерженларига эга бўлмаган системаларнинг ўзгарувчанлик даражаси V қуйидаги формулалардан аниқланади:

$$W = 3D - 2III - C_T; \quad (1.1)$$

$$V = 3D - 2III - 3; \quad (1.2)$$

$$W = 3D - 2III - C_T - 3K \quad (1.3)$$

$$V = 3D - 2III - 3 - 3K \quad (1.4)$$

$$W = 2U - C - C_T; \quad (1.5)$$

$$V = 2U - C - 3; \quad (1.6)$$

бу ерда D – дисклар сони; III – оддий (келтирилган) шарнирлар сони; C_m – таянч стерженлари сони; U – ферма тугунлари сони; C - ферма стерженлари сони; K – шарнирсиз ёпиқ контурлар сони.

(1.1) ва (1.2) формулалар шарнирсиз ёпиқ контурлари бўлмаган барча иншоот схемалари учун, (1.3) ва (1.4) формулалар ўзида шарнирсиз ёпиқ контурлари ҳам иштирок этган ҳоҳлаган ҳисоблаш схемаларига, (1.5), (1.6) - эса фермаларга мўлжалланган.

Юқорида келтирилган формулалар бўйича олинган W нинг ҳисоблаш натижаларига кўра, учта ҳол бўлиши мумкин:

1. $W > 0$; ($V > 0$) – система геометрик ўзгарувчи, чунки етарли боғланишларга эга эмас, умуман айтганда бундай шакл қурилиш тузилмалари сифатида қўлланилиши мумкин эмас.

2. $W = 0$; ($V = 0$) – система энг кам зарур боғланишлар сонига эга, уларни тўғри жойлаштириш орқали геометрик ўзгармас ва статик аниқ система ҳосил қилинади.

3. $W < 0$; ($V < 0$) – система ортикча боғланишларга эга, уларни тўғри жойлаштириш орқали геометрик ўзгармас ва статик ноаниқ система ҳосил қилинади.

$W = 1$ бўлган система м е х а н и з м дейилади.

$W \leq 0$ шарт, системанинг геометрик ўзгармаслигининг зарурий белгиси ҳисобланади, лекин қаралаётган ҳисоб схемасининг ўзгармаслиги масаласида

саволга етарли жавоб бермайди. Шунинг учун, геометрик тузилишини кўшимча таҳлил қилиб, тўғрими (ёки нотўғри) ва дискларни ўзаро қандай кетма-кетликда, ер билан қандай боғланганлигини аниқлаш керак.

Геометрик ўзгармас системаларни тузишнинг асосий қоидалари

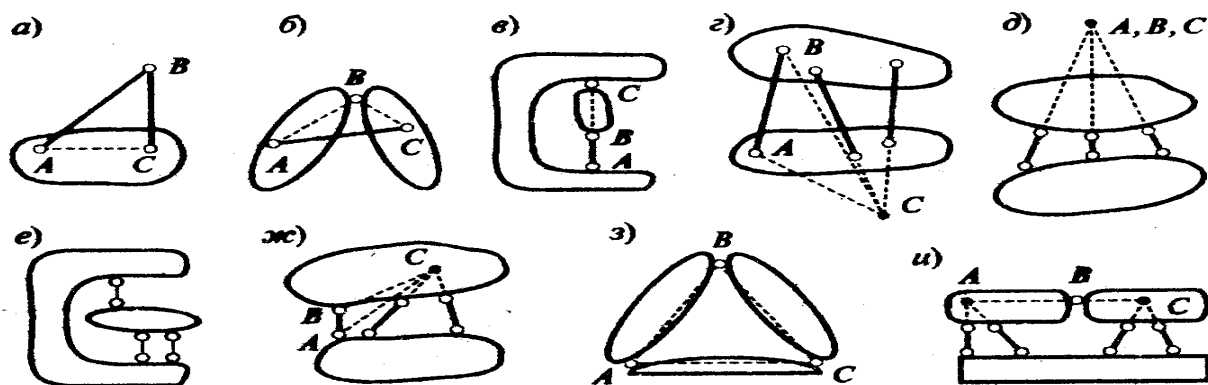
1. Диска (1.1.2, а- расм) икки стержен ёрдамида битта тугун бириктирилиши мумкин (диада), бунда стерженлар ўқлари бир тўғри чизикда ётмаслиги лозим.

2. Икки диск ўзаро битта стержен ва оддий шарнир билан бирлаштирилиши мумкин, бунда стержен ўқи шарнир марказидан ўтмаслиги керак (1.1.2, б- расм). Агар стержен ўқи шарнир марказидан ўтса, система оний ўзгарувчи бўлади (1.1.2, в- расм).

3. Икки диск ўзаро учта стержен билан бирлаштирилиши мумкин, уларнинг ўқлари бир нуқтада кесишмаслиги ва параллел жойлашмаслиги керак (1.1.2, г- расм). Акс ҳолда янги тузилган система оний ўзгарувчи бўлади (1.1.2, д, е- расм). Агар икки стержен кесишган нукталарини сохта (фиктив) шарнир билан алмаштирилса, яна иккинчи қоидага келтирилади (1.1.2, ж- расм).

4. Учта диск, учта бир тўғри чизикда ётмаган оддий шарнирлар билан бирлаштирилса, геометрик ўзгармас система ҳосил бўлади (1.1.2. з - расм). Агар шарнирлар (ҳақиқий ва сохта) бир тўғри чизикда ётса, олинган система оний ўзгарувчи бўлади (1.1.2, и - расм).

Геометрик ўзгармас системаларни яратишнинг юқорида келтирилган қоидалари, ҳақиқий ёки сохта шарнирли учбурчак - оддий геометрик ўзгармас шаклларни ҳосил қилиш нуқтаи назарига асосланган (1.1.2, а, б, г, ж, з, и- расмга қаранг). Агар шарнирли учбурчак шарнирлари бир тўғри чизикда ётса ёки нуқтада учрашса, система оний ўзгарувчан бўлади (1.1.2, д, е- расм).



1.1.2- расм

Системаларнинг оний ўзгарувчанлигини кўрсатиш учун юқорида келтирилган белгилардан ташқари *статик* ва *кинематик* усуллар қўлланилади.

Статик усулнинг моҳияти қуйидагилардан иборат бўлади. Агар системани бирор юкка ҳисоблашда унинг алоҳида элементларида чексиз катта (∞), ноаниқлик ($\frac{0}{0}$) ёки карама-қарши зўриқиш қийматлари олинса, бундай система оний ўзгарувчи бўлади. Агарда элементлар зўриқиши чекли ва битта қийматга эга бўлса, у ҳолда система геометрик ўзгармас бўлади.

Статик усулнинг энг оддийси нолли юкланиш ҳисобланади. Бу ҳолда система таянч реакциялари ва элементларидаги зўриқишлар ҳам нолга тенг бўлиши керак. Акс ҳолда, система оний ўзгарувчи бўлади.

Икки ёки уч дискдан тузилган системаларга кинематик усулни қўллаш мақсадга мувофиқдир. Амалда ҳар қандай системани икки ёки уч дискдан тузилган системаларга келтириш мумкин.

Система оний ўзгарувчи бўлади, агар:

1. Учлари шарнирли учта стержен билан туташтирилган икки дискдан тузилган система оний айланиш марказига эга бўлса.

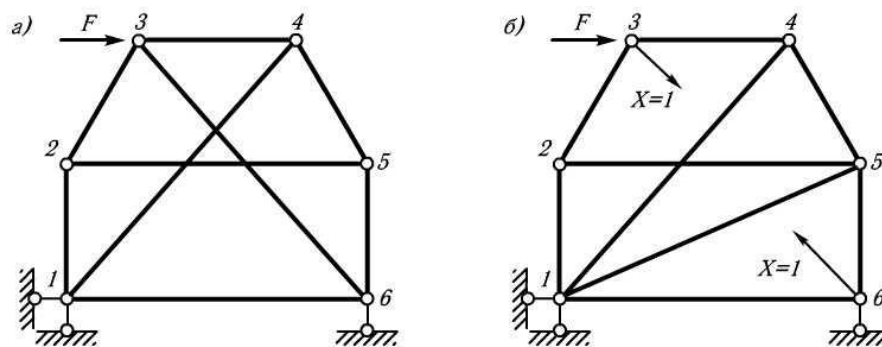
2. Бир-бирлари билан шарнирли боғланган учта дискли система оний айланиш марказлари бир тўғри чизиқда жойлашган бўлса.

Ўзаро шарнир билан бириктирилган икки дискнинг ўзаро айланувчи оний маркази шарнир билан мос тушса, икки ва ундан ортиқ стерженлар билан бириктирилганда, оний марказ стерженларнинг кесишган нуқталарида бўлади (сохта шарнир). Шу нуқталарга нисбатан бир дискнинг иккинчи дискка қараганда чексиз кичик бурчакка бурилиши бўлиши мумкин.

Оний ўзгарувчи системаларни қурилиш иншоотлари сифатида қўллашга руҳсат этилмайди. Оний ўзгарувчанликка яқин тузилмаларни ҳам қўллаш мақсадга мувофиқ эмас, чунки буларда ташқи таъсирлар натижасида ўта катта зўриқиш ва кўчишлар ҳосил бўлади.

Мураккаб шарнирли-стерженли системаларни ҳисоблаш ёки оний ўзгарувчанликка текшириш учун, кучлар таъсирининг мустақиллиги принципини қўллашга *асосланган стерженларни алмаштириш* усулидан фойдаланиш мумкин. Унинг мазмунини мисолларда тушунтирамиз.

Айтайлик, 1.1.3, а-расмда кўрсатилган ферма элементларининг зўриқишларини аниқлаш талаб қилинсин. Ҳар бир тугунда бирикувчи стерженлар сони 3 га тенг, шунинг учун фермани ҳисоблашда бирор-бир оддий усулни танлаш қийинчилик туғдиради. Бунда қуйидагича иш тутамиз: 3-6 стерженни 1-5 стержен билан алмаштириш орқали берилган фермани (ўзгартирилувчи) унга ўхшаш бўлган анча соддароқ фермага (ўзгартирилган) айлантирамиз (1.1.3,б -расм). 1-5-янги стержен, алмаштирилган стержен, ташлаб юбориладиган 3-6 стержен эса, алмаштирилувчи стержен дейилади.



1.1.3-расм

Ўзгартирилган ферма геометрик ўзгармас ва ҳисоблаш учун оддий бўлиши керак. Ташқи берилган юк таъсиридан мураккаб ферманинг алмаштирилувчи 3–6 стерженида ҳосил бўладиган зўриқишни X орқали белгилаймиз. Унинг қиймати номаълумлиги сабабли, ҳозирча уни бирга тенг ($X=1$) деб қабул қиламиз. Ўзгартирилган фермани 3 ва 6 тугунларга қўйилган бирлик юк ва берилган ташқи юклар таъсирига ҳисоблаб, 1-5 стержендаги якуний зўриқиш N_{1-5} қийматини топамиз:

$$N_{1-5} = \bar{N}_{1-5} \cdot X + N_{(1-5)p}, \quad (1.7)$$

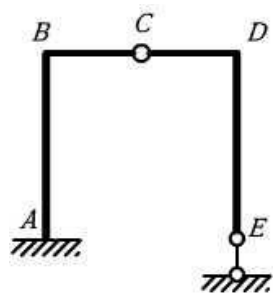
бу ерда N_{1-5} –алмаштирилган 1–5 стерженнинг $X=1$ бирлик кучи таъсиридан зўриқиши; $N_{(1-5)p}$ –алмаштирилган 1–5 стерженнинг берилган ташқи юк таъсиридан зўриқиши.

Ўзгартирилган ферма, ўзгартирилувчи фермага тенг (эквивалент) бўлиши учун $N_{1-5} = 0$ шarti бажарилиши зарур, чунки берилган системада алмаштирилган 1–5 стержен йўқ.

$$\bar{N}_{1-5} X + N_{(1-5)p} = 0, \text{ бундан } X = -N_{(1-5)p} / \bar{N}_{1-5}. \quad (1.8)$$

X нинг қийматини топиб, барча стерженлардаги зўриқишларни тугун кесиш усулини қўллаб осонликча топиш мумкин ва ҳоҳлаган i стержен учун:

$$N_i = \bar{N}_i \cdot X + N_{ip}. \quad (1.9)$$



1.1.4 - расм

Қаралган усулни ферманинг кўплаб алмаштирилувчи стерженларига қўллаш мумкин.

Чунки алмаштирилган ферма геометрик ўзгармас, берилган ферманинг барча стерженларидаги зўриқишлар тўлалигича аниқ ва тугалланган зўриқишларга эга бўлади, булар эса геометрик ўзгармас системаларнинг статик белгиси ҳисобланади. Агар $\bar{N}_{1-5} = 0$ бўлиб чиқса, у ҳолда $X = \pm\infty$, ёки $X = 0/0$ ва система оний ўзгарувчи бўлади.

1.1- мисол. 1.1.4- расмда кўрсатилган системани кинематик таҳлил қилинсин.

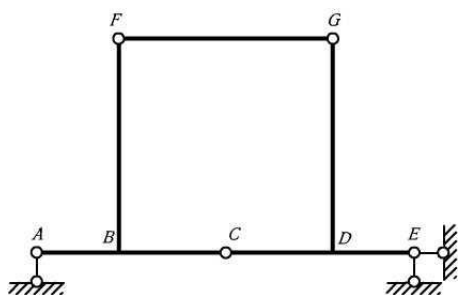
Дастлаб (1.1) формуласи ёрдамида системанинг эркинлик даражасини аниқлаймиз. Барча шарнир ва таянч стерженларини ташлаб юборамиз. Система икки дискдан, яъни $D = 2$, C нуктасидаги битта шарнир ва тўртта

таянч стерженларидан (бикир таянч учта таянч стерженларидан иборат) $C_T=4$ дан иборатлигини аниқлаймиз.

$$W = 3D - 2III - C_T = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 4 = 0$$

Шундай қилиб, система ўзгармас ва статик статик аниқ бўлиши учун энг кам зарур миқдордаги боғланишларга эга.

Системалар геометрик структурасининг таҳлилини бажарамиз. ABC диск ер билан бикир боғланганлиги сабабли, ABC дискни ер деб ҳисоблаш мумкин. Ушбу дискка CDE диски шарнир маркази орқали ўтмаган таянч стержени ва C шарнири ёрдамида бириктирилган. Шундай қилиб, система ўзгармас система тузиш қондасига мос ҳолда тузилган. У статик аниқ, геометрик ва оний ўзгармас.



1.1.5- расм

1.2- мисол. 1.1.5- расмда кўрсатилган системани кинематик таҳлил қилинсин.

Системанинг эркинлик даражасини ҳисоблаймиз. Барча шарнир ва таянч стерженларини ташлаб юбориб, топамиз:

$$D = 3, \quad III = 3, \quad C_T = 3.$$

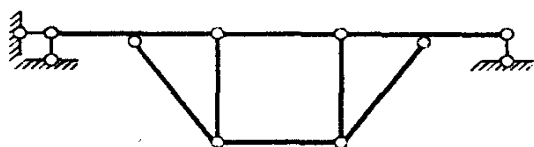
У ҳолда

$$W = 3D - 2III - C_T = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 3 = 0$$

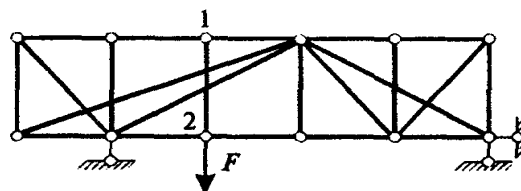
Система ўзгармас ва статик аниқ бўлиши учун энг кам зарурий боғланишлар сонига эга. Унинг ўзгармаслигига ишониш учун, геометрик структурасининг таҳлилини бажариш керак. Учта $FABC$, $GCDE$ ва FG дисклари ўзаро бир тўғри чизикда ётмаган CFG шарнирлари билан боғланиб, тузилишни ташкил қилиш қондаси асосида янги дискни тузади. Ушбу диск ерга бир нуқтада кесишмаган учта таянч стерженлари ёрдамида бириктирилган. Шундай қилиб, система геометрик ва оний ўзгармас, статик аниқ.

1.3- мисол. 1.1.6- расмда кўрсатилган система текширилсин. Дисклар сони $D=8$, оддий (келтирилган) шарнирлар сони $III=10$, таянч стерженлари сони $C_m=3$. Шундай қилиб, $W = 3D - 2III - C_T = 3 \cdot 8 - 2 \cdot 10 - 3 = 1$.

Система бир эркинлик даражасига эга, яъни механизм бўлиб ҳисобланади ва қурилиш тузилмаси сифатида қўллаш мумкин эмас.



1.1.6-расм.

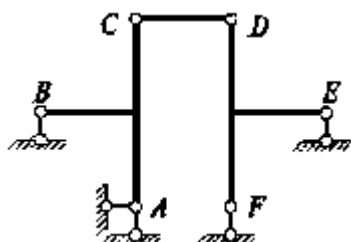


1.1.7-расм.

1.4- мисол. 1.1.7- расмда кўрсатилган система текширилсин.

Система шарнирли-стерженли бўлганлиги сабабли, унинг эркинлик даражасини аниқлаш учун (1.5) формулани қўллаймиз. Тугунлар сони $Y=12$, стерженлар сони $C=22$, таянч стерженлари сони $C_m=3$. Шундай қилиб,

$W = 2Y - C - C_T = 2 \cdot 12 - 22 - 3 = -1$ Система битта ортиқча боғланишга эга. 2 -пастки тугунни кесиб ва мувозанат тенгламаси $\sum Y = 0$ ни тузиб: $N_{1-2} = F$ ни оламыз, юқориги 1-тугунни кесилишидан эса $-N_{1-2} = 0$. Стержен учун топилган зўриқишлар N_{1-2} қарама-қарши ҳисобланади. Берилган система статик белгиларига кўра оний ўзгарувчи бўлади.



1.1.8-расм

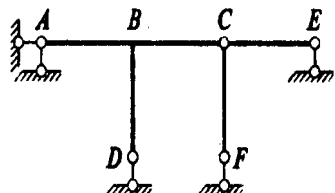
1.5- мисол. 1.1.8- расмда кўрсатилган системанинг кинематик таҳлили бажарилсин.

$D=3$, $III=2$, $C_m=5$. У ҳолда $W = 3D - 2III - C_T = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 2 - 5 = 0$. Структуравий таҳлил қиламиз. ABC диск ерга, бир нуқтада кесишмайдиган учта стержен билан бириктирилган. Олинган янги дискка (ер+ ABC диски) DFE диски CD стержени ва иккита таянч стерженлари, яъни яна бир

нуқтада кесишмайдиган учта стерженлар ёрдамида бириктирилади.

Хулоса: система геометрик ва оний ўзгармас, статик аниқ экан.

1.6- мисол. 1.1.9- расмда кўрсатилган системанинг кинематик таҳлили бажарилсин.

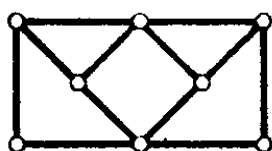


1.1.9-расм

Дисклар сони $D = 3$, таянч стерженлари $C_m = 5$. С цилиндрик шарнири каррали, чунки у учта дискни бирлаштиради. Оддий (келтирилган) шарнирлар сони формуласига кўра $III = n - 1 = 3 - 1 = 2$ У ҳолда

$$W = 3D - 2III - C_T = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 2 - 5 = 0$$

Бир нуқтада кесишмайдиган учта стержен билан ерга бириктирилган $ABCD$ диски, янги кўзғалмас дискни ташкил қилади. Бу дискка, C шарнири ва шарнир маркази орқали ўтмаган таянч стержени ёрдамида, CE диски бирлаштирилади. Шундай қилиб олинган система ҳам кўзғалмас диск ҳисобланади. Охирги дискка C шарнири ва шарнир маркази орқали ўтувчи таянч стержени ёрдамида CF диски бирлаштирилади, бу тузилишни ташкил қилиш қондасига кўра, оний ўзгарувчанликка олиб келади.



1.1.10-расм

1.7- мисол. 1.1.10- расмда кўрсатилган система текширилсин.

Система таянч стерженларига эга бўлмаганлиги сабабли, унинг ички ўзгарувчанлигини (1.6) формуласи бўйича аниқлаймиз:

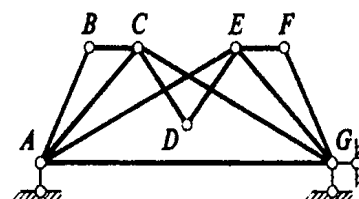
$$V = 2Y - C - 3 = 2 \cdot 8 - 12 - 3 = 1$$

Система бир эркинлик даражасига эга ва қурилиш тузилмаси сифатида қўлланишга яроқсиз.

1.8- мисол. 1.1.11- расмда кўрсатилган система кинематик таҳлил қилинсин.

$$W = 2Y - C - C_T = 2 \cdot 7 - 11 - 3 = 0$$

Системанинг геометрик ўзгармаслигини исботлаш учун бир неча марта ўзгармас системаларни яратишни биринчи усулини қўллаймиз. Энг оддий учбурчакли ACG дискка B тугунни AB ва BC чизиқлар



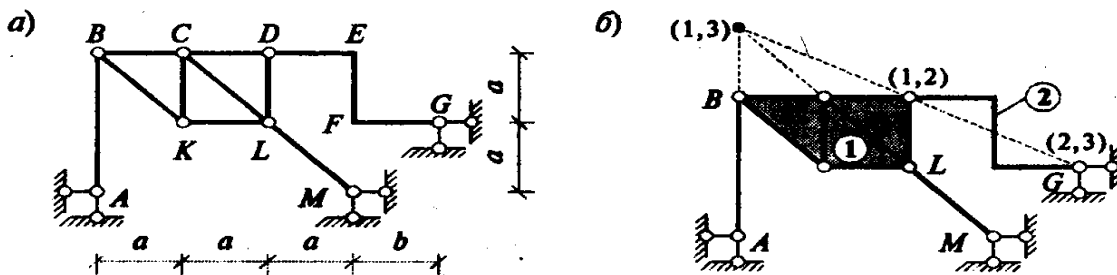
1.11-расм

ёрдамида бириктирамыз. Олинган янги $ABCG$ диска E тугунни AE ва EG диадалар ёрдамида, сўнгра F тугунини FE ва FG диадалар ёрдамида бириктирамыз. Охирида $ABCEFG$ диска D тугуни CD ва DE диадалар ёрдамида бириктирилади. Шундай қилиб, бир бутун система диск хисобланади. Ушбу диск ерга учта стерженлар билан тўғри маҳкамланган. Хулоса: система кўзғолмас, геометрик ўзгармас ва статик аниқ.

1.9- мисол . 1.1.12, а- расмда кўрсатилган система учун кинематик таҳлил бажарилсин.

$$D=10, \quad III=12, \quad C_T=6. \quad W=3D-2III-C_T=3\cdot 10-2\cdot 12-6=0$$

Тўғри бирлаштирилган учбурчаклардан тузилган ферма, битта $BCDLK$

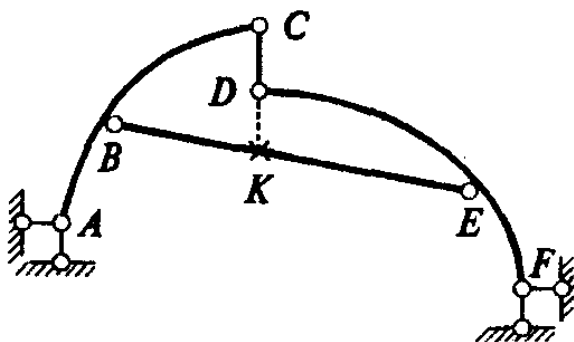


1.1.12- расм

(1.1.12, а,б- расм) дискни ҳосил қилади.

Ёрни учинчи диск деб қабул қилиб, тадқиқ қилиш учун кинематик усулни қўллаймиз. 1- дискнинг оний айланиш маркази ерга нисбатан AB ва LM стерженларнинг кесишган нуктасида (сохта шарнир) жойлашган, 1-диск 2-дискка ($DEFG$) нисбатан— D шарнири билан ва 2- диск ерга нисбатан G шарнирлари билан боғланган. Учала боғланган дисklarнинг ҳамма оний айланиш марказлари бир тўғри чизикда ётади, бу масаланинг геометриясидан келиб чиқади (1.1.12, б- расм,). Шундай қилиб, берилган система оний ўзгарувчи.

1.10- мисол. 1.1.13- расмда кўрсатилган система тадқиқ қилинсин.



1.1.13- расм

$$D=4, \quad III=4, \quad C_m=4$$

$$W=3D-2III-C_T=3\cdot 4-2\cdot 4-4=0$$

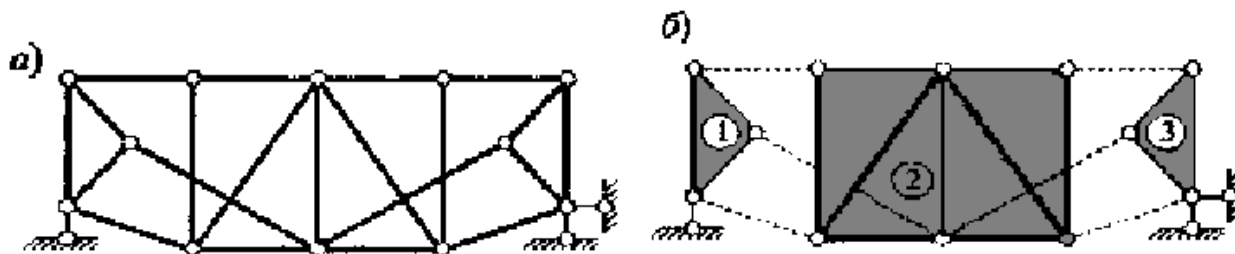
ABC ва DEF дисklари ер юзига A, F шарнирлари билан бириктирилган ва ўзаро K нуктада (сохта шарнир) кесишувчи CD ва BE стерженлар билан бирлаштирилган.

A, K ва F шарнирлар бир тўғри чизикда ётмайди. Шундай қилиб, тузилишни ташкил қилиш шаклига

кўра, берилган система геометрик ўзгармас, статик аниқ ва оний ўзгарувчан эмас.

1.11- мисол. 1.1.14, а- расмда кўрсатилган система тадқиқ қилинсин.

Тугунлар сони $Y=12$, стерженлар сони $C=21$, таянч стерженлари сони $C_m=3$. $W=2Y-C-C_T=2\cdot 12-21-3=0$.

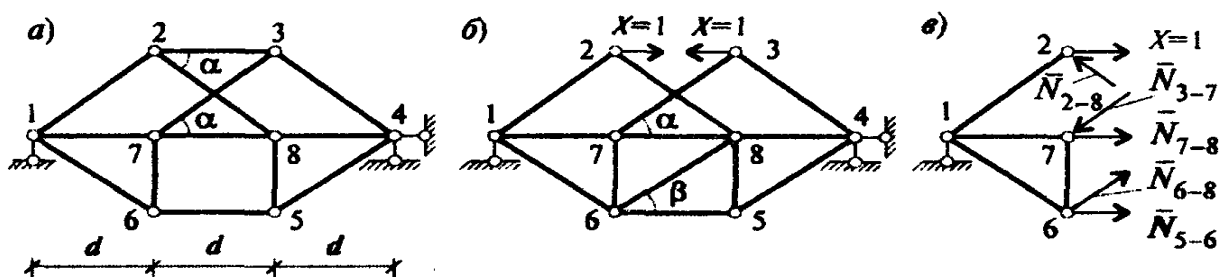


1.1.14- расм

1- ва 2- дисклар ўзаро бир нуктада кесишмайдиган учта тўғри чизиқлар (улар узлукли кўрсатилган) билан бириктирилган ва тузилишни ташкил қилишнинг учинчи қоидасига кўра, янги дискни ҳосил қилади. Ушбу янги дискка 3- диск худди юқорида айтилгандек бириктирилади. Шундай тартибда олинган бир бутун диск, бир нуктада кесишмайдиган учта таянч стерженлари билан ерга бириктирилади. Хулоса: Ферма статик аниқ, геометрик ва оний ўзгармас.

1.12- мисол. 1.1.15, а-расмда кўрсатилган система тадқиқ қилинсин

$$Y=8, C=13, C_T=3. \quad W=2 \cdot Y - C - C_T = 2 \cdot 8 - 13 - 3 = 0$$



1.1.15- расм

Берилган системанинг геометрик тузилишини таҳлил қилиш бизга маълум қоидалар бўйича анча мураккаб.

Бу масалани ечиш учун стерженларни алмаштириш усулини қўллаймиз. Берилган системани бошқаси билан алмаштирамиз, бунда 2-3 стержен 6-8 стержени билан алмаштирилган (1.1.15, б- расм). Бу система ҳам геометрик ўзгармасдир.

Ташлаб юборилган 2-3 стержен ўрнига, алмаштирилган системанинг 2- ва 3-тугунларига ташқи симметрик юклар сифатида қабул қилинган, бирлик кучларни қўйиб, 6-8 стерженидаги $\bar{N}_{6-8}$ зўриқишини топамиз. Ферманинг симметриклиги сабабли, 2- ва 3- тугунларни кесиб 1-2 ва 3-4 стерженларига перпендикуляр ўқларига, барча кучларнинг проекциялари тенгламасини тузиш натижасида 2-8 ва 3-7 стерженларидаги зўриқишлар сиқилувчи ва тенг $\bar{N}_{2-8} = \bar{N}_{3-7}$ бўлади. Сўнгра, 2-8, 3-7, 7-8, 6-8, 5-6 стерженлар орқали қирқим ўтказамиз ва вертикал ўққа чап кучларнинг проекциялари йиғиндисини ифодаловчи мувозанат тенгламаларини тузамиз (1.1.15, в-расм):

$$\sum Y = 0, \quad \cancel{\bar{N}_{2-8} \cdot \sin \alpha} - \cancel{\bar{N}_{3-7} \cdot \sin \alpha} + \bar{N}_{6-8} \cdot \sin \beta = 0$$

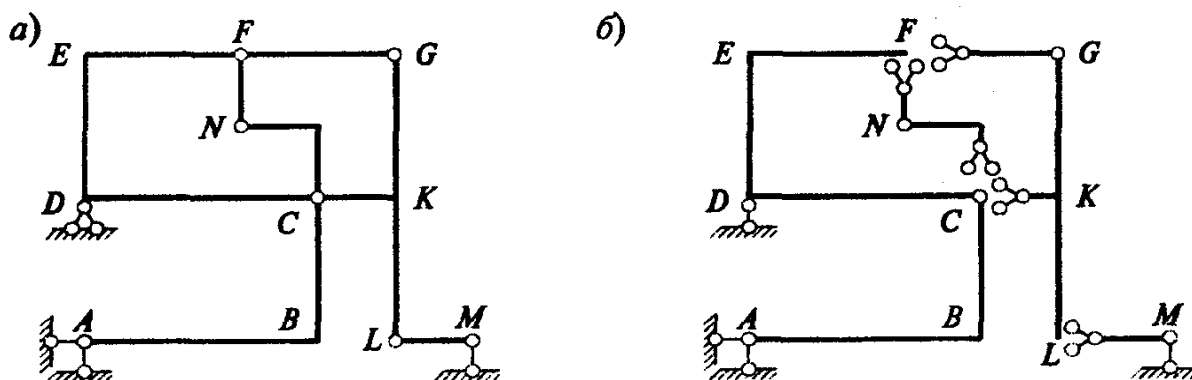
Бу ердан $\bar{N}_{6-8} = 0$ эканлиги келиб чиқади. $\bar{N}_{6-8} = 0$ тенглик берилган системанинг оний ўзгарувчанлик белгиси ҳисобланади.

1.13- мисол. 1.1.16, а- расмда кўрсатилган системанинг кинематик таҳлили бажарилсин.

$$D = 7, III = 8, C_m = 5. \quad W = 3 \cdot D - 2 \cdot III - C_T = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 8 - 5 = 0.$$

Раманинг (1.1.16, б- расм), оддий шарнирларини унга тенг кучли икки стерженли шарнирли-қўзғалмас таянчлар билан алмаштириб, қаватлар схемаси (шакли) ни тузамиз.

Қаватлар схемасида, геометрик ўзгармас асосий-дискни ва геометрик ўзгармаслиги асосий қисмга таяниш ҳисобига бажариладиган ва иккинчи даражали қисмга ажратилади. Ўзаро C шарнири ва ерга A, D шарнирлари ёрдамида бириктирилган, икки ABC ва $CDEF$ дискларидан тузилган $ABCDEF$ уч шарнирли рама, геометрик ўзгармас система (диск) ҳисобланади, чунки уччала A, C, D шарнирлар бир тўғри чизикда ётмайди. Бу дискга, бир бутун геометрик ўзгармас система ҳосил қилувчи, яна икки- CNF ва $FGKCL$ уч шарнирли рамалари таянади. Ниҳоят, охириги дискка бир нуқтада кесишмайдиган учта таянч стерженлари ёрдамида LM балкаси (стержен) бириктирилади.

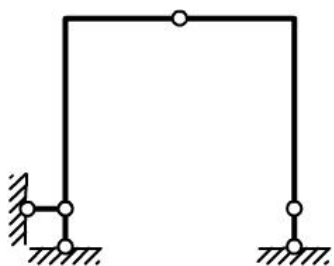


1.1.16- расм

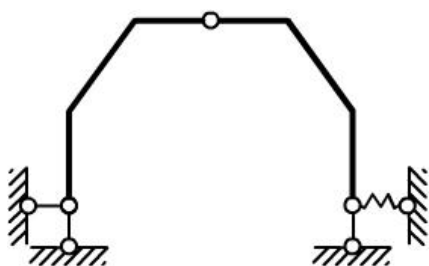
Хулоса: агар берилган система учун геометрик ўзгармас системаларни тузишнинг асосий қоидаларига асосан қаватлашган схема

1.1.01.... 1.1.51- масалалар. Системалар кинематик таҳлил қилинсин.

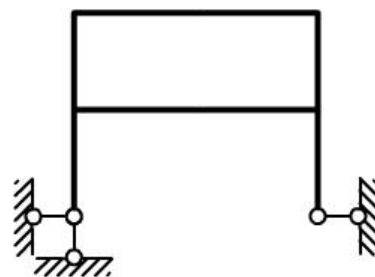
1.1.01



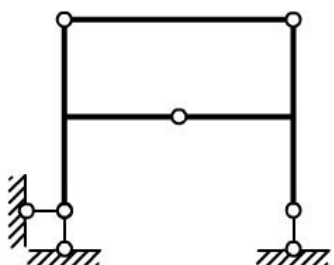
1.1.02



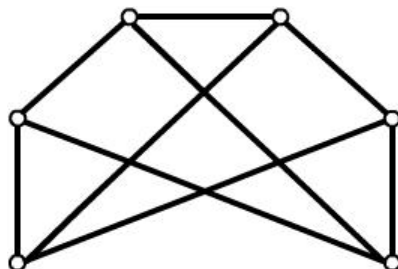
1.1.03



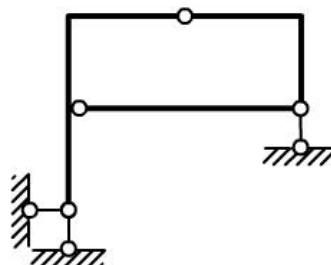
1.1.04



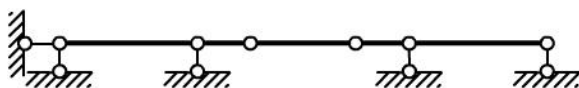
1.1.05



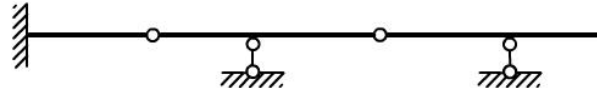
1.1.06



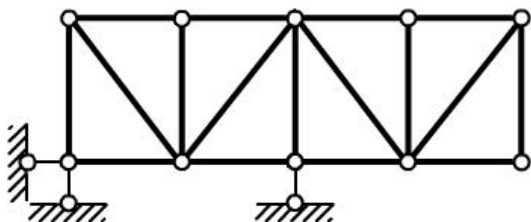
1.1.07



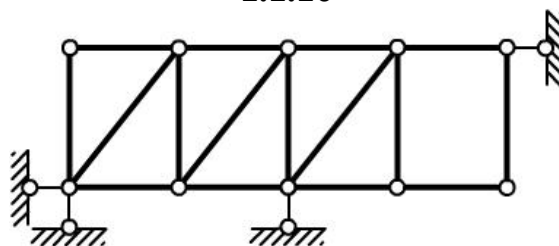
1.1.08



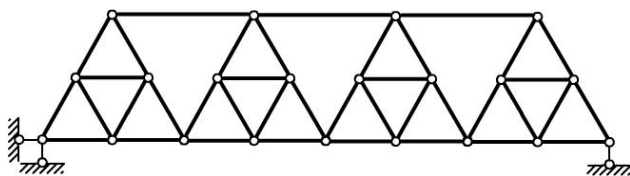
1.1.09



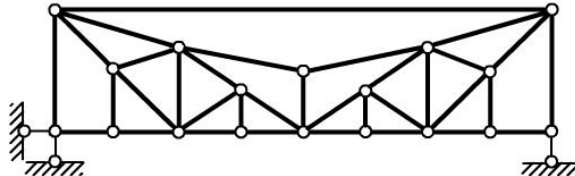
1.1.10



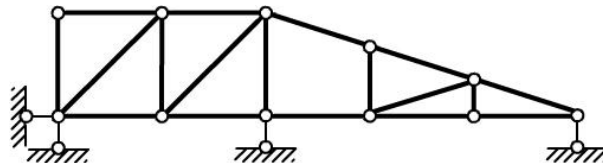
1.1.11



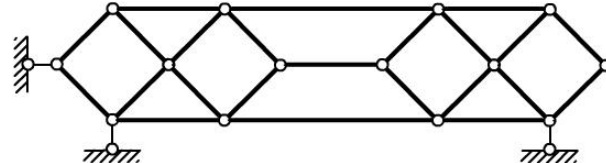
1.1.12



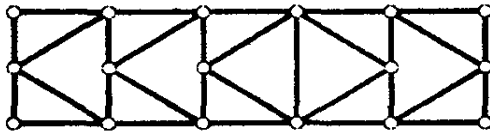
1.1.13



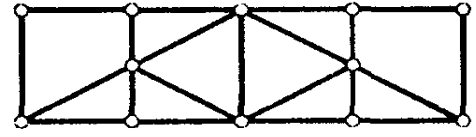
1.1.14



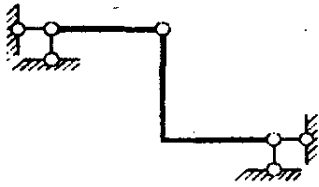
1.1.15



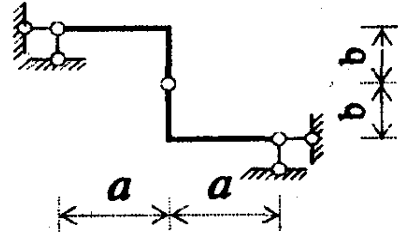
1.1.16



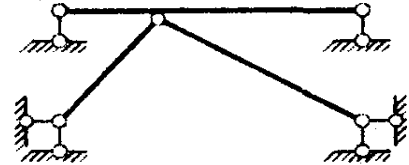
1.1.17



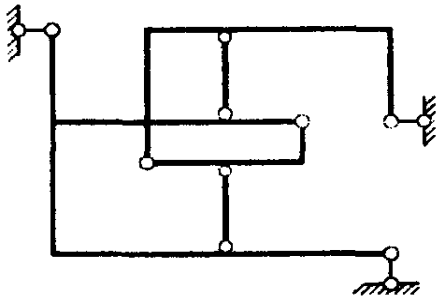
1.1.18



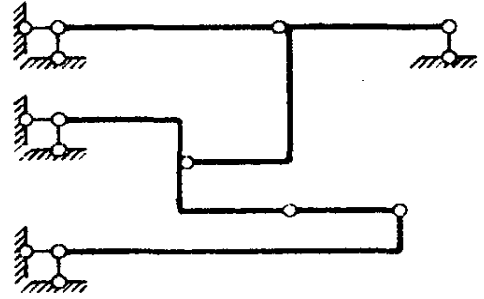
1.1.19



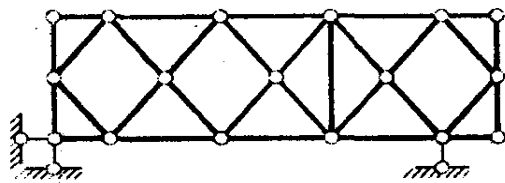
1.1.20



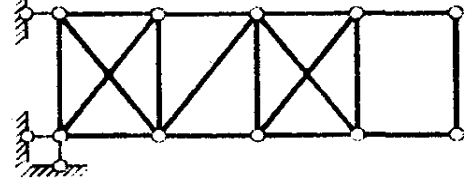
1.1.21



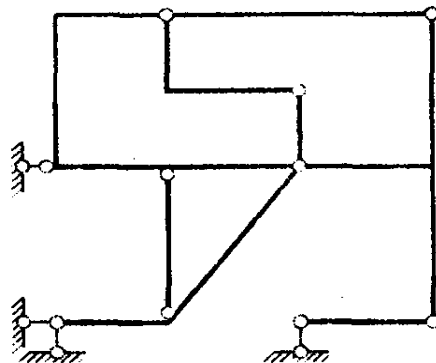
1.1.22



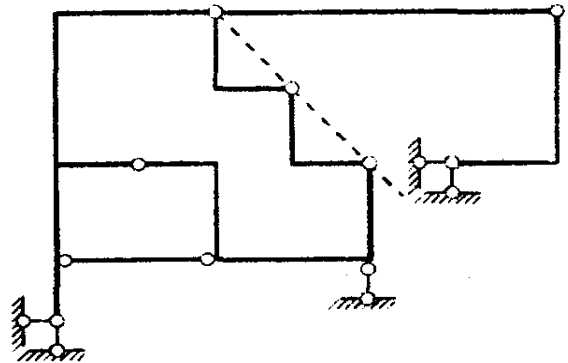
1.1.23



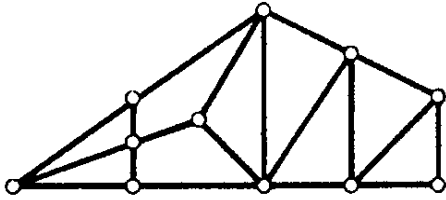
1.1.24



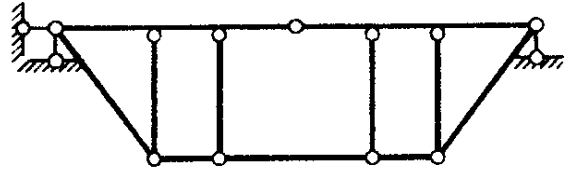
1.1.25



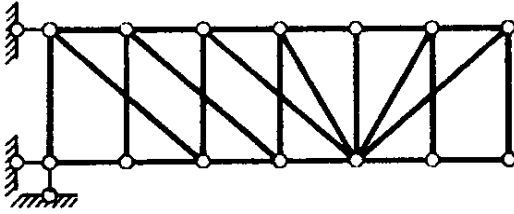
1.1.26



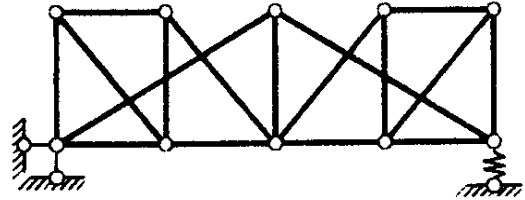
1.1.27



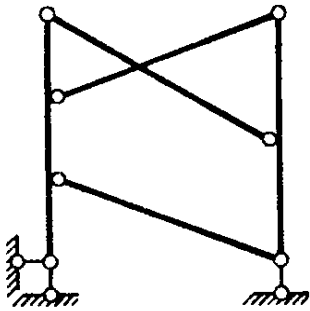
1.1.28



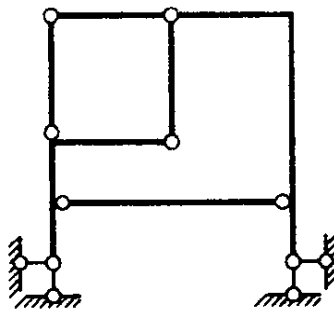
1.1.29



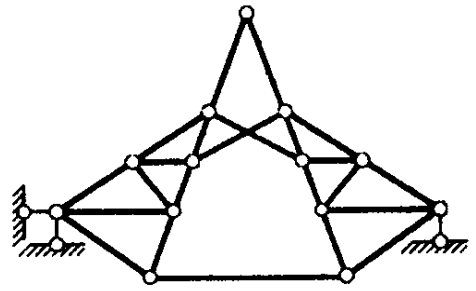
1.1.30



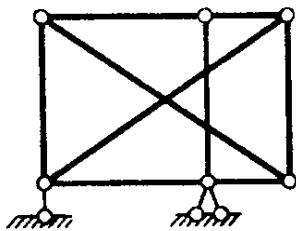
1.1.31



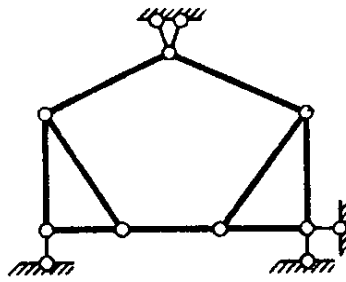
1.1.32



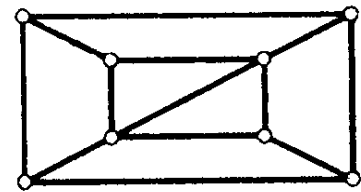
1.1.33



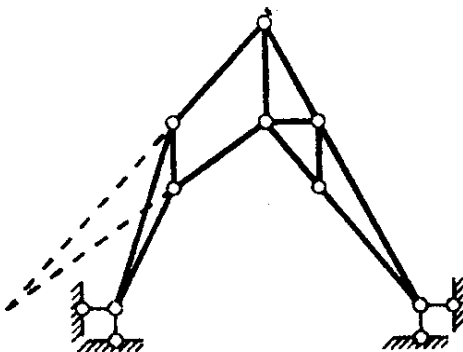
1.1.34



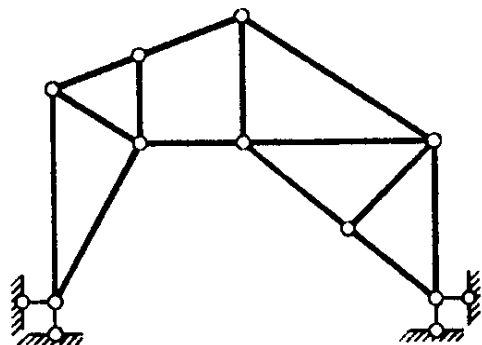
1.1.35



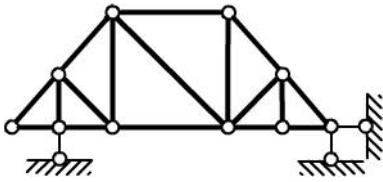
1.1.36



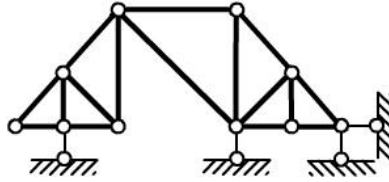
1.1.37



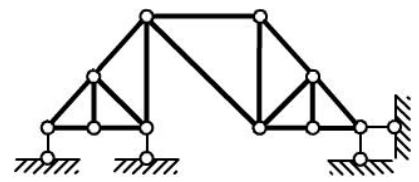
1.1.38



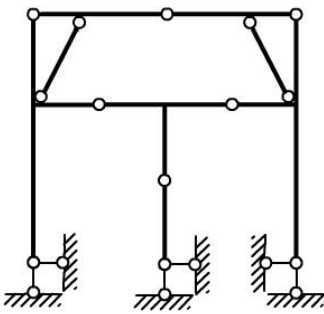
1.1.39



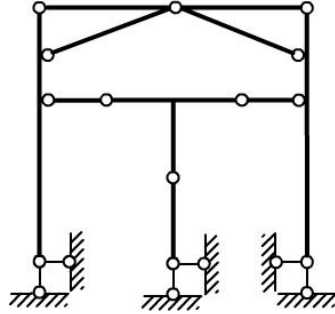
1.1.40



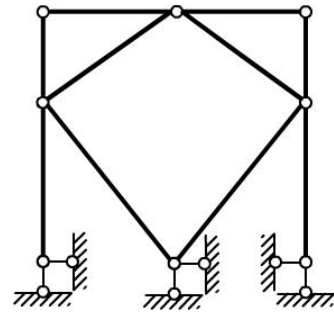
1.1.41



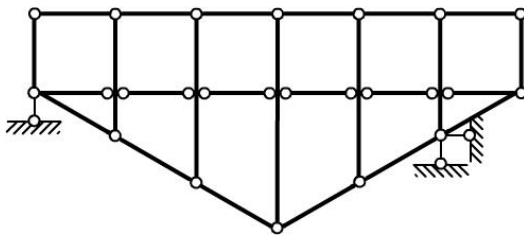
1.1.42



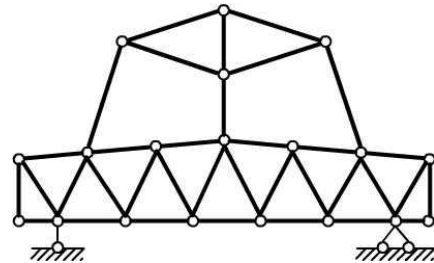
1.1.43



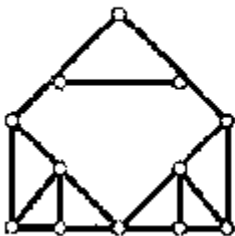
1.1.44



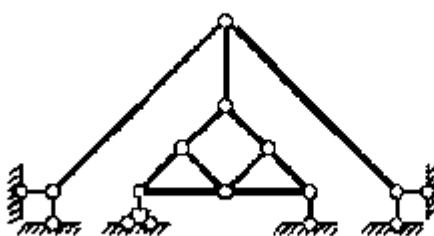
1.1.45



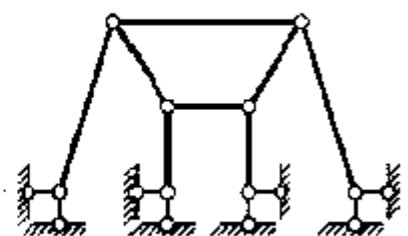
1.1.46



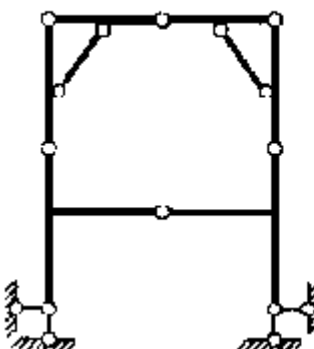
1.1.47



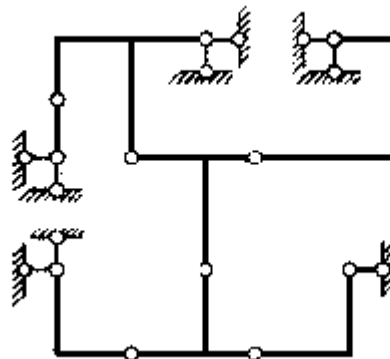
1.1.48



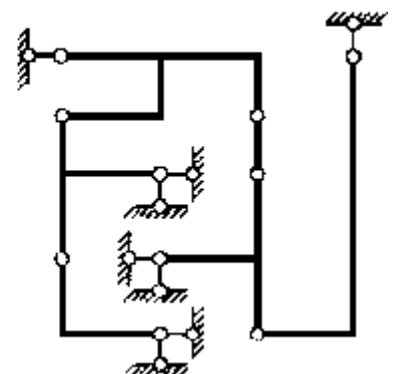
1.1.49



1.1.50



1.1.51



1.2-§. Текис стерженли системаларнинг статик ноаниқлик даражасини аниқлаш ва ортиқча боғланишларни йўқотиш йўли билан улардан статик аниқ система тузиш.

1.1.§ даги саволларни ўрганиб, қуйидаги икки таърифни ифодалаш мумкин.

Ички зўриқишлари ва боғланишлардаги реакциялари фақат статиканинг мувозанат тенгламаларидан аниқланиши мумкин бўлган геометрик ўзгармас системага **с т а т и к а н и қ с и с т е м а** дейилади. Бундай системалар учун $W = 0$ ($V = 0$) бўлади.

Таъкидламоқ лозимки, статик аниқ системалар тушунчаси бир вақтнинг ўзида, унинг геометрик ўзгармаслиги ва ортиқча боғланишларга эга эмаслигини кўрсатади. Система учун $W < 0$ ($V < 0$) шарт бажарилгани билан, унинг геометрик ва оний ўзгармаслиги исбот қилинмагунча, статик аниқ деб айтиш мумкин эмас.

Ички зўриқишлари ёки таянч реакциялари фақат статиканинг мувозанат тенгламаларидан аниқланиши мумкин бўлмаган геометрик ўзгармас системага **с т а т и к н о а н и қ с и с т е м а** дейилади. Бундай системалар учун $W < 0$ ($V < 0$) бўлади.

Юқорида айтилгани каби, система учун $W < 0$ ($V < 0$) шарт бажарилгани билан, унинг оний ва геометрик ўзгармаслиги аниқланмагунча, статик ноаниқ деб айтиш мумкин эмас.

Статик ноаниқ система, геометрик ўзгармаслик учун етарли миқдордаги энг кам боғланишлардан ташқари, керагидан ортиқ боғланишларга (ортиқча боғланишларга) эга бўлади. Ортиқча боғланишлар деб, системанинг геометрик ўзгармаслигини бузмаган ҳолда, ташлаб юбориш мумкин бўлган боғланишларга айтилади. Эътиборга олиш лозимки, бу боғланишлар мустаҳкамлик нуқтаи назарида бутунлай ортиқча бўлмаслиги мумкин.

Статик н о а н и қ л и к д а р а ж а с и деб аталувчи ортиқча боғланишлар сони L , тескари ишора билан олинган эркинлик даражаси формуласи бўйича ҳисобланади:

$$L = -W = C_T + 2III - 3D, \quad (1.10)$$

$$L = -W = C_T + C - 2U. \quad (1.11)$$

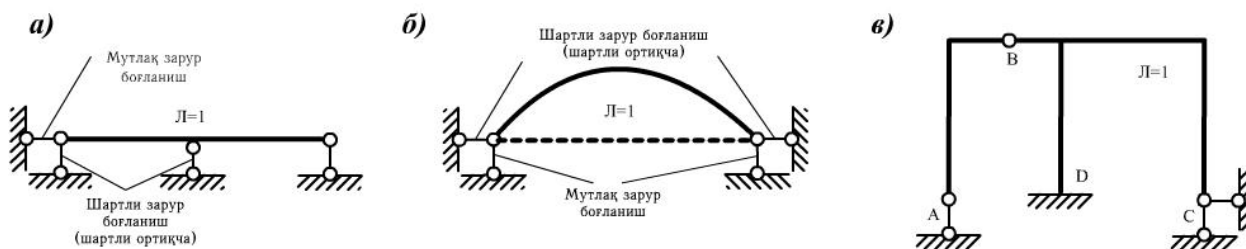
Ҳар бир шарнирсиз ёпиқ контур ортиқча учта боғланишларга эга бўлиб, уч марта ички статик ноаниқ система бўлади. Шу сабабли, ёпиқ контурлари бўлган системалар учун ортиқча боғланишлар сони қуйидаги формула бўйича аниқланади.

$$L = -W = C_T + 2III + 3K - 3D. \quad (1.12)$$

бу ерда K - шарнирсиз ёпиқ контурлар сони.

Статик ноаниқ системаларнинг барча боғланишлари икки категория (туркум) га ажралади: *мутлақ зарур ва шартли зарур (шартли ортиқча)*. Системанинг статик ноаниқ бўлишига қарамасдан, мутлақ зарур боғланишларни олиб ташлаш, берилган системани оний ва геометрик ўзгарувчи бўлишига олиб келади. Мутлақ зарур боғланишлардаги зўриқишлар мувозанат тенгламаларидан аниқланиши мумкин.

Шартли зарур боғланишларни олиб ташлаш эса, берилган системани геометрик ўзгарувчан бўлишига олиб келмайди (1.2.1, а, б- расм).



1.2.1-расм

1.2.1, в- расмдаги A таянчининг вертикал стержени ва B шарнири мутлақ зарур боғланишлар ҳисобланади, уларни олиб ташлашга йўл қўйиб бўлмайди, C ва D нуқталаридаги таянч боғланишлари эса шартли зарур ҳисобланади ва улардаги қайсидир икkitасини олиб ташлаш мумкин.

Статик ноаниқ системада ҳар доим L миқдордаги шундай шартли зарур боғланишларни топиш мумкинки, уларни олиб ташлаш берилган системани статик аниқ системага айлантиради. Статик аниқ системани тузишда ортиқча боғланишлар сифатида ташқи ёки ички боғланишларни олиш мумкин. Ҳар қандай статик ноаниқ системалар учун, статик аниқ системалар танлашнинг саноксиз кўп вариантини таклиф қилиш мумкин, улар асосан статик ноаниқ тузилмаларни ҳисоблашда катта аҳамиятга эгадир.

Битта боғланишни йўқотишда қўлланиладиган усуллар

1. Битта таянч стерженини олиб ташлаш.
2. Учлари шарнирли битта тўғри чизиқли стерженни олиб ташлаш. Бундан кейин бундай стерженлар *ферма* элементи, уч шарнирли рамалар (аркалар) да эса *тортқич* дейилади.
3. Битта оддий шарнир киритиш.

Иккита боғланишларни йўқотишда қўлланиладиган усуллар

4. Иккита таянч стерженларини олиб ташлаш, ёки икки ферма элементини, ёки икки оддий шарнирлар киритиш, ёки битта икки каррали шарнир киритиш, ёки уларнинг ҳар қандай комбинацияси.
5. Битта оддий шарнирни олиб ташлаш.

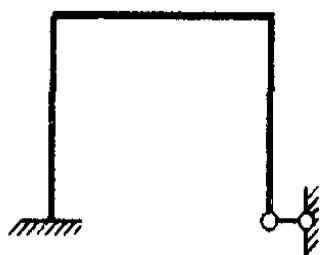
Учта ва ундан ортиқ боғланишларни йўқотишда қўлланиладиган усуллар

6. Юқорида келтирилган усулларнинг ҳар қандай комбинацияси.
7. Элементларни кесиш.

Хулоса қилиб қайд қиламизки, статик аниқ системаларни тузиш бирдан-бир мақсад эмас, ҳисоблашларда уларни кейинги қўлланишлари учун биринчи қадамдир. Шунинг учун, берилган статик ноаниқ системага мос келган, саноксиз кўп статик аниқ системадан ҳар қандай юқлар таъсиридан эгувчи момент эпюраларини куриш учун қулай ва энг оддий (рационал) сини танлаш керак. Хусусан, агар берилган система симметрик бўлса, ундан олинган статик аниқ система ҳам симметрик бўлиши керак. Бунга симметрик жойлашган ортиқча боғланишлар ва симметрия ўқларида жойлашган боғланишларни олиб ташлаш йўли билан эришилади.

1.14- мисол. Ортиқча боғланишлар сонини аниқланг ва уларни олиб ташлаш йўли билан статик аниқ система тузинг (1.2.2- расм).

(1.10) формуласи бўйича ортиқча боғланишлар сонини аниқлаймиз:

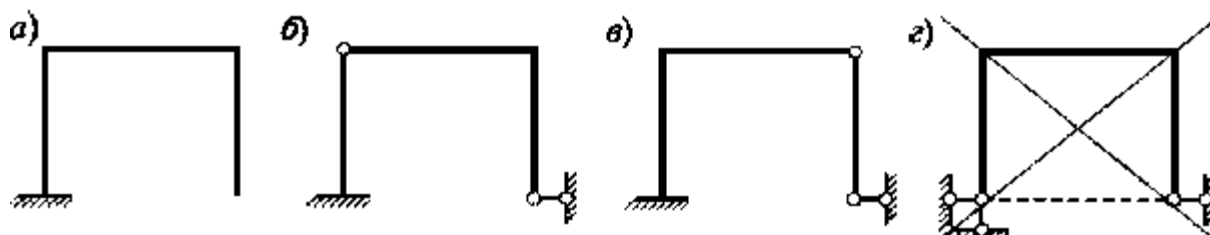


1.2.2-расм

$$I = C_T + 2III - 3D = 4 + 2 \cdot 0 - 3 \cdot 1 = 1.$$

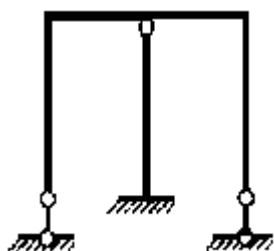
Берилган система битта ортиқча боғланишга эга. Агар, юқорида келтирилган 1- усулга асосан, системанинг ўнг таянчидаги горизонтал стержен олиб ташланса, олинган система энг оддий статик аниқ система бўлади (1.2.3, а). Агар чап ёки ўнг тугунига оддий шарнир киритилса, система унчалик яхши танланмаган бўлади (1.2.3, б, в).

Қистирилган таянчга шарнир киритиш мумкин эмас, чунки шундай тартибда олинган система оний ўзгарувчан бўлади (диск ерга бир нуқтада кесишувчи учта таянч стерженлари билан бириктирилади).



1.2.3- расм

1.15- мисол. Ортиқча боғланишлар сонини аниқланг ва уларни олиб ташлаш йўли билан статик аниқ система тузинг (1.2.4- расм)



1.2.4-расм

Ортиқча боғланишлар сонини аниқлаймиз.

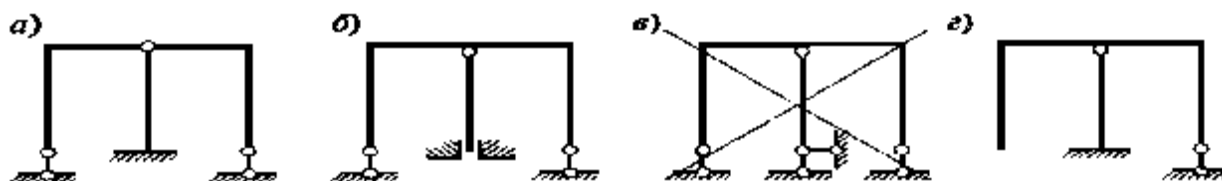
$$I = C_T + 2III - 3D = 5 + 2 \cdot 1 - 3 \cdot 2 = 1$$

Берилган система битта ортиқча боғланишга эга.

Бу боғланишни, ёки бирор шартли зарур таянч стерженини олиб ташлаш йўли билан (1- усул) ёки оддий шарнир киритиш йўли билан (3- усул), йўқотиш

мумкин.

Берилган система симметрик бўлганлиги сабабли, статик аниқ системани ҳам симметрик танлаш мақсадга мувофиқдир.



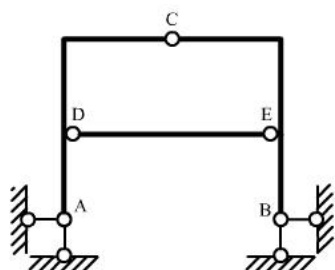
1.2.5- расм

Буни, горизонтал стерженнинг ўртасига оддий шарнир киритиш ёрдамида (1.2.5, а- расм) ёки учта таянч стерженига тенг кучли бўлган қистирилган таянчнинг вертикал таянч стерженини олиб ташлаш йўли билан (1.2.5, б- расм), бажариш мумкин.

Агар қистирилган таянчга шарнир киритилса, у ҳолда оний ўзгарувчи система ҳосил бўлади (1.2.5, в- расм).

Ё чапдаги, ё ўнгдаги битта таянч стерженини олиб ташлаш мумкин, у ҳолда статик аниқ система носимметрик бўлади (1.2.5, з- расм).

1.16- мисол. Ортиқча боғланишлар сони топилсин ва уларни ташлаб юбориш йўли билан статик аниқ система тузилсин (1.2.6- расм).



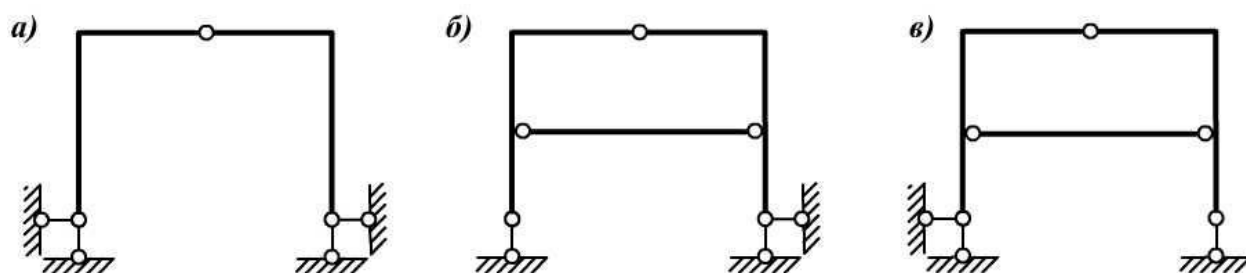
1.2.6-расм

$$L = C_T + 2III - 3D = 4 + 2 \cdot 3 - 3 \cdot 3 = 1.$$

Битта боғланишни йўқотиш керак. Берилган системанинг симметриклиги сабабли, олинadиган статик аниқ системанинг симметриясини бузмаслик учун симметрия ўқидаги ортиқча боғланишни олиб ташлаймиз. С шарнир иккита боғланишга тенг кучли бўлганлиги сабабли, уни олиб ташлаш мумкин эмас.

Боғланишларни йўқотишнинг иккинчи усулига асосан DE тортқични (1.2.7, а- расм) олиб ташлаймиз.

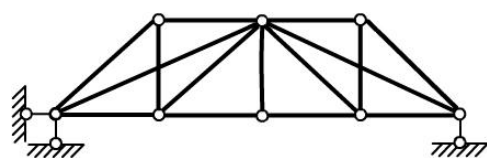
Агар, А ёки В нуқталардаги битта горизонтал таянч стерженини олиб ташласак, статик аниқ система бироз ёмонроқ бўлади (масаланинг



1.2.7- расм

симметриклиги йўқолади) (1.2.7, б, в-расм). Мутлақ зарур вертикал таянч стерженларини олиб ташлаш мумкин эмас.

1.17-мисол. Статик ноаниқлик даражаси ҳисоблансин ва берилган системадан статик аниқ система тузилсин (1.2.8- расм).

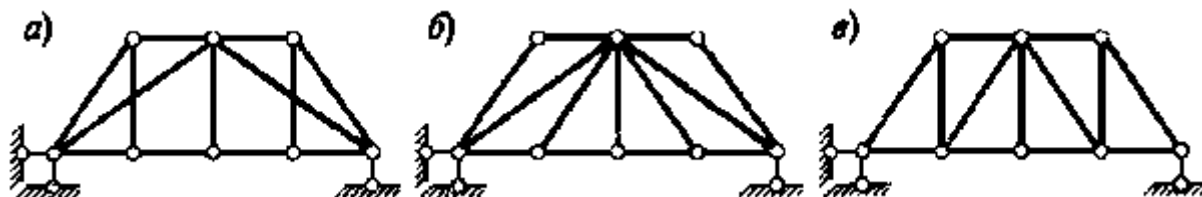


1.2.8-расм

Ферма учун (1.11) формуласи бўйича статик ноаниқлик даражасини аниқлаймиз:

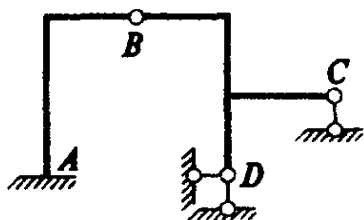
$$L = C_T + C - 2Y = 3 + 15 - 2 \cdot 8 = 2.$$

Берилган симметрик ферма ички икки марта статик ноаниқ. Иккита симметрик жойлашган ферма элементларини олиб ташлаш йўли билан статик аниқ система олиш мумкин. 1.2.9, а, б, в- расмларда шундай системаларнинг турли вариантлари кўрсатилган.



1.2.9- расм

1.18- мисол. Статик ноаниқлик даражаси аниқлансин ва берилган системадан статик аниқ система тузилсин (1.2.10-расм)

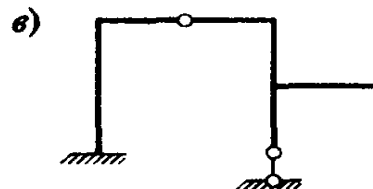
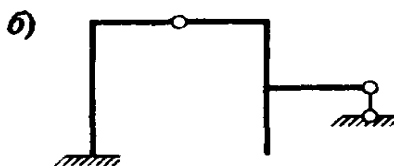
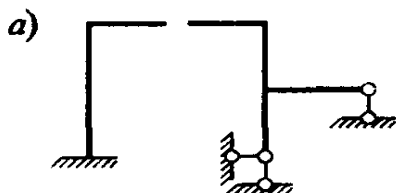


1.2.10-расм

$$L = C_T + 2III - 3D = 6 + 2 \cdot 1 - 3 \cdot 2 = 2.$$

Энг табиий ҳаракат-иккита боғланишга тенг кучли, B оддий шарнирини олиб ташлаш (1.2.11, a - расм). D нуқтадаги иккита таянч стерженларини ташлаб юбориб (1.2.11, b - расм), ёки C нуқтадаги вертикал таянч стержени ва D нуқтадаги ҳоҳлаган таянч стерженини олиб ташлаб, бошқа статик аниқ системаларни олиш мумкин (1.2.11, $в$ - расм).

1.19- мисол. Ортикча боғланишлар сони аниқлансин ва уларни олиб ташлаш йўли билан статик аниқ система тузилсин (1.2.12- расм)



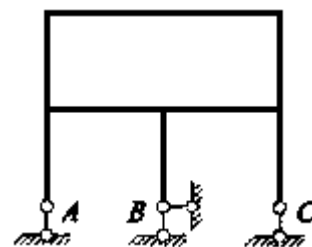
1.2.11- расм

Берилган симметрик системада битта ёпиқ контур бўлганлиги сабабли, ортикча боғланишлар сонини (1.12) формуласи бўйича аниқлаймиз:

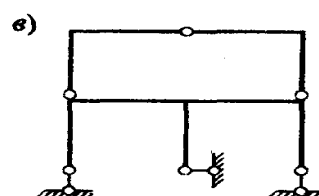
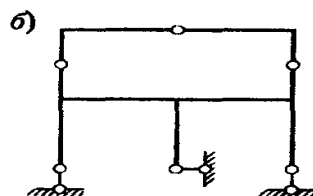
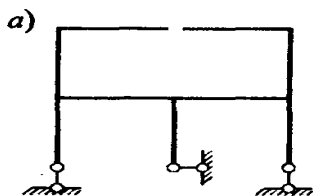
$$L = C_T + 2III + 3K - 3D = 4 + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 1 - 3 \cdot 1 = 4$$

Барча тўртта ортикча боғланишларни бир ҳаракат билан олиб ташлаб бўлмайди. Шунинг учун юқорида келтирилган 1- ва 2- усуллар комбинациясини қўллаймиз.

Юқориги горизонтал стерженнинг ўртасидан кесамиз (бундай кесим учта ортикча боғланишларни ташлаб юбориш билан тенг) ва B нуқтадаги вертикал таянч стерженини олиб ташлаймиз (1.2.13, a - расм). 1.2.13, b , $в$ - расмларда ҳар хил кесимларга учта оддий шарнирлар киртиш ва B нуқтасидаги вертикал таянч стерженини олиб ташлаш йўли билан олинган, яна икки унча яхши танланмаган статик аниқ системалар кўрсатилган.



1.2.12-расм

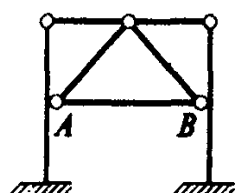


1.2.13-расм

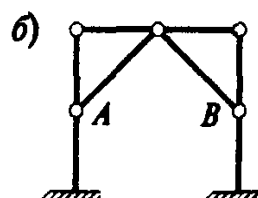
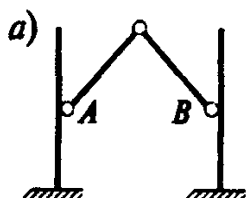
1.20- мисол. Берилган системанинг статик ноаниқлик даражаси ҳисоблансин ва ундан статик аниқ система тузилсин (1.2.14-расм).

$$L = C_T + 2III - 3D = 6 + 2 \cdot 9 - 3 \cdot 7 = 3.$$

Статик аниқ системаларнинг бирини учта ферма элементини олиб ташлаш йўли билан олиш мумкин (1.2.15, a - расм).



1.2.14-расм



1.2.15-расм

Агар пастки ферма элементини олиб ташлаб, A ва B шарнирларини киритак, яна битта статик аниқ системани оламиз (1.2.15.б- расм).

1.21- мисол. Берилган системанинг статик ноаниқлик даражаси ҳисоблансин ва ундан статик аниқ система тузилсин (1.2.16-расм).

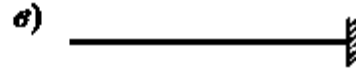
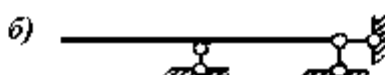
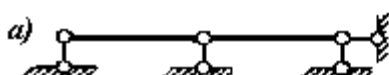


1.2.16-расм

$$L = C_T + 2III - 3D = 5 + 2 \cdot 0 - 3 \cdot 1 = 2$$

Энг қулай статик аниқ система B ва C нуқталарига иккита оддий шарнирлар киритиш йўли билан тузилади (1.2.17, a -расм).

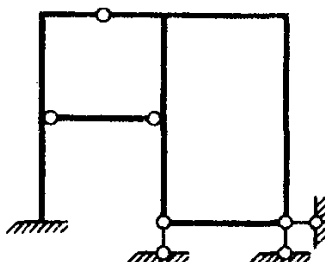
1.2.17, $б, в$ - расмларда яна иккита оддий статик аниқ системалар



1.2.17- расм

ифодаланган.

1.22- мисол. Ортикча боғланишлар сони топилсин ва уларни олиб ташлаш йўли билан статик аниқ система тузилсин (1.2.18-расм).



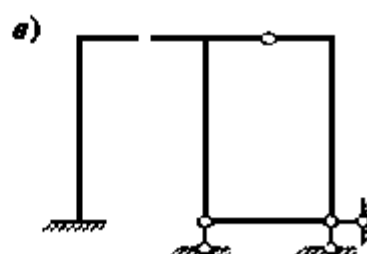
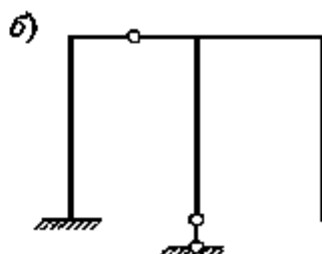
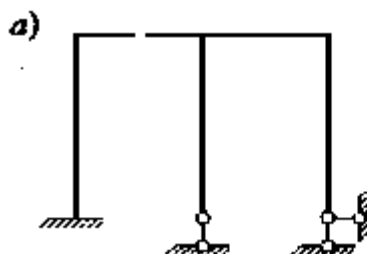
1.2.18-расм

$$L = C_T + 2III - 3D = 6 + 2 \cdot 5 - 3 \cdot 4 = 4$$

Тўртта ортикча боғланишларни йўқотиш керак. Кўриниб турибдики, агар иккита ферма элементини ва оддий шарнирни олиб ташланса, энг оддий статик аниқ системани олиш мумкин (1.2.19, a - расм).

Агар иккита ферма элементини ва ўнг таянчдаги иккита боғланишни олиб ташланса, яна битта оддий статик аниқ системага эга бўламиз (1.2.19, $б$ - расм).

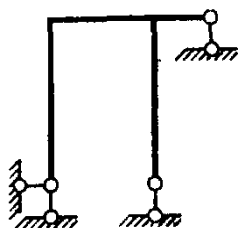
1.2.19, $в$ - расмда бироз мураккаброқ статик аниқ система кўрсатилган.



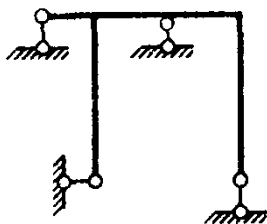
1.2.19-расм

1.2.01 ... 1.2.36- масалалар. Ортиқча боғланишлар сони L аниқлансин ва уларни олиб ташлаш йўли билан статик аниқ системалар тузилсин.

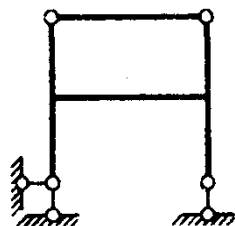
1.2.01



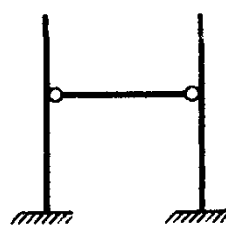
1.2.02



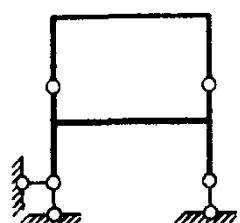
1.2.03



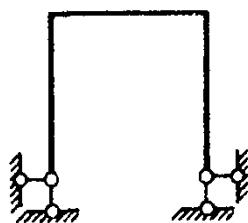
1.2.04



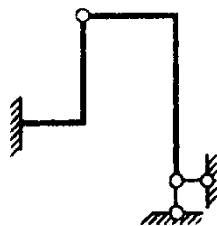
1.2.05



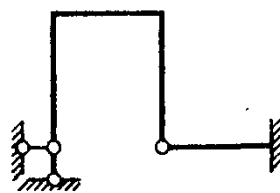
1.2.06



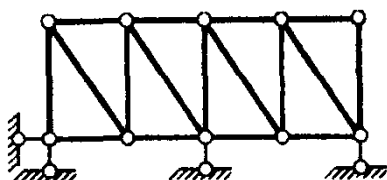
1.2.07



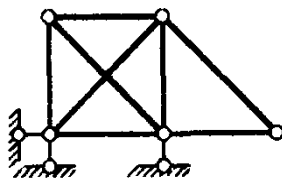
1.2.08



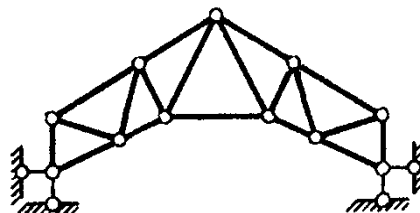
1.2.09



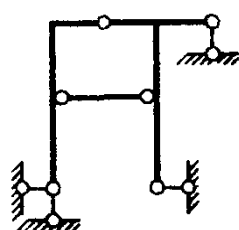
1.2.10



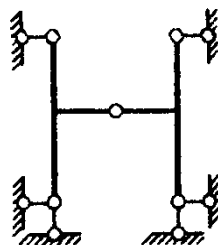
1.2.11



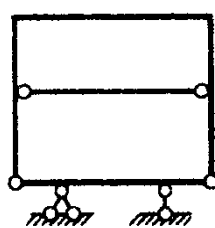
1.2.12



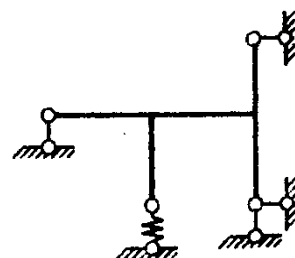
1.2.13



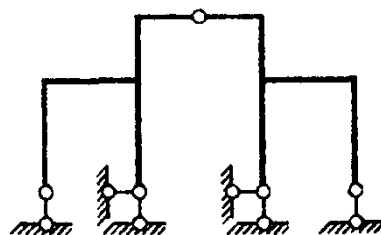
1.2.14



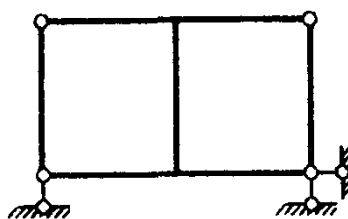
1.2.15



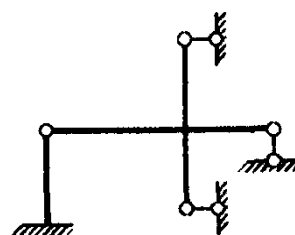
1.2.16



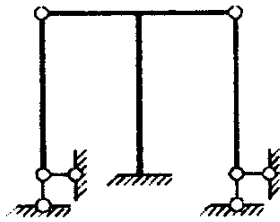
1.2.17



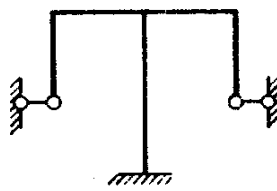
1.2.18



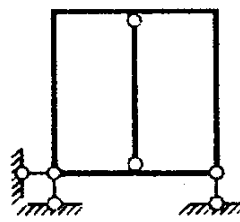
1.2.19



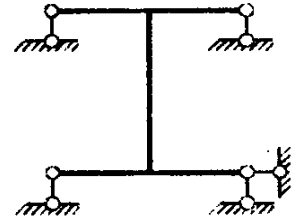
1.2.20



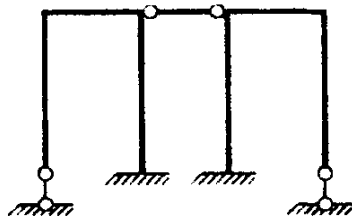
1.2.21



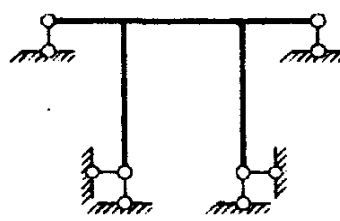
1.2.22



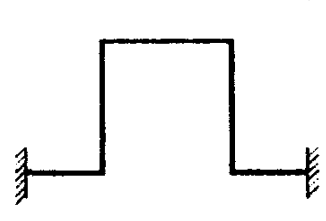
1.2.23



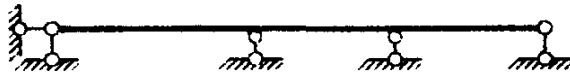
1.2.24



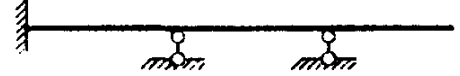
1.2.25



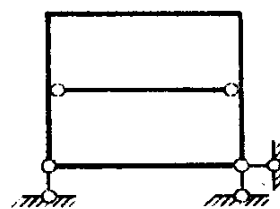
1.2.26



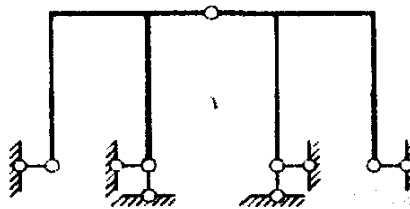
1.2.27



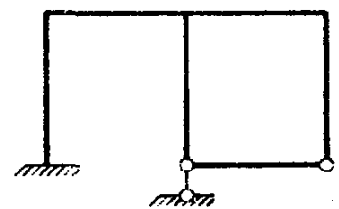
1.2.28



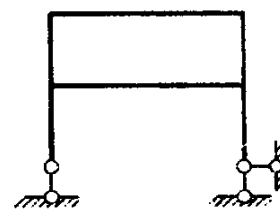
1.2.29



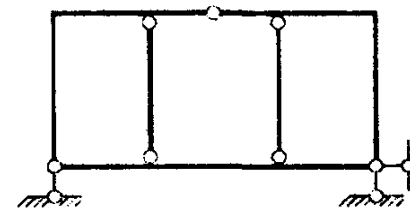
1.2.30



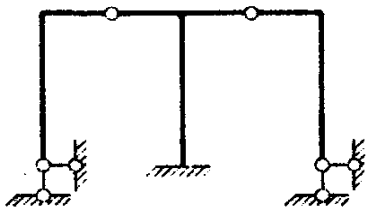
1.2.31



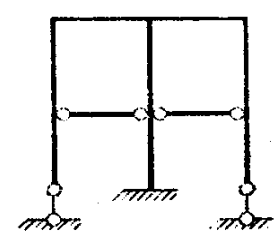
1.2.32



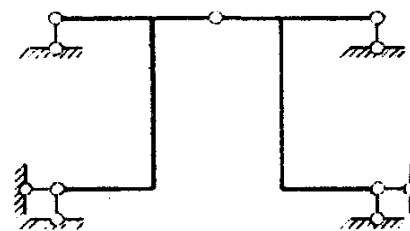
1.2.33



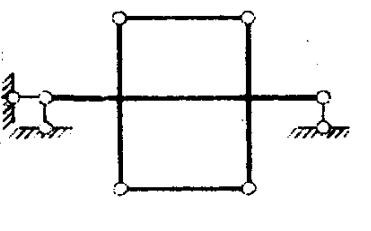
1.2.34



1.2.35



1.2.36



1-бобга Доир ўзини-ўзи назорат қилиш учун саволлар.

1. Иншоотларнинг ҳисоблаш схемаси деганда нимани тушунаси? Уни танлашда қандай мулоҳазалардан фойдаланилади?
2. Текис стерженли системаларнинг эркинлик даражаси деб нимага айтилади?
3. Қандай система геометрик ўзгармас дейилади?
4. Қандай система геометрик ўзгарувчан дейилади?
5. Оний ўзгарувчи система қандай бўлади?
6. «Диск» деганда нимани тушунилади?
7. Кинематик боғланишга таъриф беринг.
8. Стерженли системаларни асос билан маҳкамлашда қандай таянч турлари қўлланилади, уларнинг статик ва кинематик хусусиятлари қандай бўлади?
9. Оддий цилиндрик шарнир нима ва у нечта кинематик боғланишга эга?
10. Каррали (мураккаб) шарнир дегани нима? Оддий, каррали, тўлиқ ва тўлиқ бўлмаган шарнирларга мисоллар келтиринг. Оддий шарнирлар сони орқали каррали шарнирлар қандай аниқланади?
11. Шарнирли-стерженли системаларнинг тугуни деганда нима тушунилади?
12. Турли системаларнинг эркинлик даражаси сони W ни аниқлаш формулаларини келтиринг. Бу формулалардан қайси бири умумий формула бўлади?
13. Юқорида зикр қилинган формулалардаги D ва III ҳарфларининг олдида «+3» ва «-2» коэффициентлари нима учун қўйилганини тушунтиринг?
14. Системаларнинг эркинлик даражаси сони W га боғлиқ, учта бўлиши мумкин бўлган ҳолатни айтинг?
15. Эркинлик даражаси $W=1$ бўлган система қандай аталади?
16. Қайси зарур, лекин етарли бўлмаган шарт системанинг геометрик ўзгармаслик белгиси бўлади?
17. Нима сабабдан ва қайси ҳолатларда иншоотларни қўзғолмаслиги ва ўзгармаслиги ҳақида ҳукм чиқариш учун, уларнинг геометрик тузилишини таҳлил қилиш зарур?
18. Геометрик ўзгармас системалар тузишнинг асосий усуллари санаб ўтинг. Мисоллар келтиринг?
19. Иншоотлар оний ўзгарувчанлигининг статик белгисини айтинг.
20. Иншоотлар оний ўзгарувчанлигининг кинематик белгилари қандай бўлади?
21. Нима учун оний ўзгарувчи иншоотлар қурилиш амалиётида қўлланилмайди?
22. Нол юкланиш усулида системанинг оний ўзгарувчанлиги қандай текширилади?
23. Стерженларни (боғланишларни) алмаштириш усулида системанинг оний ўзгарувчанлиги қандай текширилади?

24. Статик аниқ системаларга таъриф беринг.
25. Статик ноаниқ системаларга таъриф беринг.
26. Эркинлик даражаси $W = 0$ бўлган системани, статик аниқ деб айтиш мумкинми?
27. Эркинлик даражаси $W < 0$ бўлган системани, статик ноаниқ деб айтиш мумкинми?
28. Системалардаги ортиқча боғланишлар деганда нима тушунилади?
29. Системалардаги ортиқча боғланишлар сонини (статик ноаниқлик даражасини) аниқлаш формулаларини келтиринг.
30. Шарнирсиз ёпиқ контурнинг статик ноаниқлик даражаси нимага тенг?
31. Мутлақ зарур ва шартли зарур боғланишлар орасида нима фарқ бор?
32. Статик ноаниқ системаларнинг мутлақ зарур боғланишларидаги зўриқишларни фақат статика мувозанат тенгламаларидан аниқлаш мумкинми?
33. Мутлақ зарур боғланишлар ортиқча деб ҳисобланиши мумкинми?
34. Қандай қилиб, статик ноаниқ системадан статик аниқ система олиш мумкин?
35. Берилган статик ноаниқ системадан қанча турдаги статик аниқ системалар олиш мумкин?
36. Битта боғланишни олиб ташлашда қўлланиладиган усулларни айтинг. Мисоллар келтиринг.
37. Иккита боғланишларни олиб ташлашда қўлланиладиган усулларни айтинг. Мисоллар келтиринг.
38. Учта ва ундан ортиқ боғланишларни олиб ташлашда қўлланиладиган усулларни айтинг. Мисоллар келтиринг.

2-боб. ИНШООТЛАРНИ ДОИМИЙ ЮКЛАР ТАЪСИРИГА ҲИСОБЛАШ

Статик аниқ системаларнинг асосий хусусиятлари

1. Статик аниқ системаларда иссиқлик таъсиридан, таянчлар силжишдан ва йиғишдаги ноаниқликлардан таянч реакциялари ва ички зўриқишлар (M, Q, N) ҳосил бўлмайди.

2. Статик аниқ системаларнинг реакциялари ва элементларидаги зўриқишлар, кўндаланг кесим шакли ва ўлчамларига ҳамда иншоот материалнинг эластик хусусиятларига боғлиқ эмас.

3. Статик аниқ системаларда кўпинча, хусусий кўзғалмасликка ва геометрик ўзгармасликка эга бўлган асосий қисмни ажратиш мумкин, системанинг қолган қисми эса унга таяниб ўзининг кўзғалмаслиги ва геометрик ўзгармаслигига эга бўлади. Бундай системаларда, асосий қисмга қўйилган юклар фақат шу қисм элементларида зўриқишлар ҳосил қилади. Бошқача айтганда, пастки қисмидаги юк ва зўриқишлар унинг юқорисидаги қисмларга узатилмайди (2.30-мисолга қаранг).

4. Статик аниқ системанинг муайян геометрик ўзгармас қисмига қўйилган мувозанатлашган юк фақат шу қисмида зўриқиш ҳосил қилди, системанинг барча қолган қисмида эса зўриқишлар нолга тенг (2.25- мисолга қаранг).

2.1-§. Таянч реакцияларини аниқлаш.

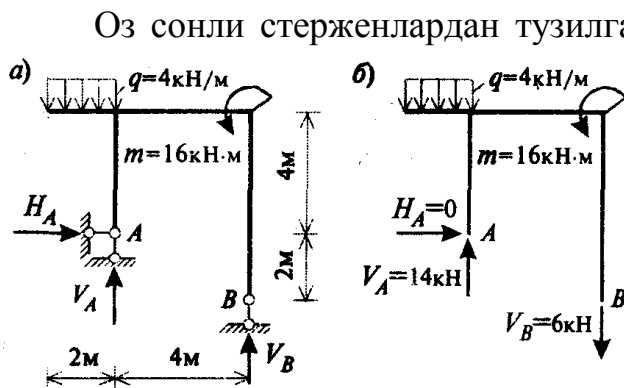
Ҳар қандай муҳандислик иншоотлари ташқи юк таъсирида таянчларга босим кўрсатади. Бу босимга тенг ва қарама-қарши кучлар, *таянч реакциялари* дейилади. Уларни аниқлаш учун, системага таъсир этувчи барча кучлни x , y ўқларига проекцияларининг йиғиндиси ва бу кучларни таянчларга ёки бошқа момент нуқталарига нисбатан моментларининг йиғиндисини ифодаловчи статиканинг мувозанат тенгламалари: $\Sigma X=0$; $\Sigma Y=0$; $\Sigma M=0$, тўлди. Охирги тенгламани тузишда соат стрелкаси бўйича таъсир этувчи моментларни мубат ишорали деб ҳисоблаймиз. Барча таянч реакцияларини топиш ва уларни текширишда статик аниқ системалар учун доимо етарлича мувозанат тенгламаларини тузиш мумкин.

Ҳозирдан бошлаб, *ўнг томонлама тўғри бурчакли координаталар системаси* қабул қилинади (x ўқи ўнгга йўналтирилган, y ўқи юқорига). Юқорига йўналтирилган вертикал реакциялар V , горизонтал реакциялар H - ўнгга, қистирилган таянчдаги соат стрелкаси ҳаракати бўйича йўналтирилган реактив моментлар M -мусбат ҳисобланади. Тортқичдаги зўриқиш H_m стерженни чўзса, мусбат қабул қилинади.

Таянч реакцияларини аниқлашда, аввало, ҳисоб схемасида уларнинг йўналишларини кўрсатиш керак. Агар реакцияларнинг ҳақиқий йўналишини оддий мантиқий мулоҳазалардан аниқлаш имконияти бўлмаса, у ҳолда уларни мусбат йўналишли деб қабул қиламиз.

Бир дискли системаларда таянч реакцияларини аниқлашни кўрамиз.

2.1- мисол. 2.1.1, *a*- расмда кўрсатилган оддий раманинг таянч реакциялари топилсин.



2.1.1-расм

иккитаси (V_A, V_B) эса, унга перпендекуляр бўлади. Бундан маълумки дастлаб $\sum X = 0$ тенгламасини тузиш лозим, бундан $H_A = 0$ эканлигини топамиз. V_B реакциясини топиш учун $\sum M_A = 0$ тенгламасини тузамиз:

$$-V_B \cdot 4 - 4 \cdot 2 \cdot 1 - 16 = 0, \text{ бундан } V_B = -6 \text{ кН.}$$

«Минус» ишораси V_B реакцияси дастлаб фараз қилганимиздек юқорига эмас, пастга йўналганлигини кўрсатади. Ниҳоят, V_A реакциясини $\sum M_B = 0$ тенгламасидан аниқлаймиз:

$$V_A \cdot 4 - 4 \cdot 2 \cdot 5 - 16 = 0, \text{ бундан } V_A = 14 \text{ кН.}$$

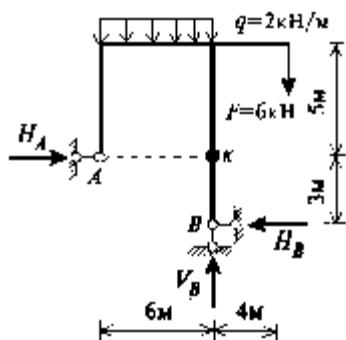
2.1.1, б- расмда топилган таянч реакцияларининг қийматлари ва йўналишлари кўрсатилган. Уларнинг қийматларини тўғрилигини текшириш учун $\sum Y = 0$ тенгламасини тузамиз:

$$-4 \cdot 2 + 14 - 6 = 14 - 14 = 0.$$

Демак, таянч реакциялари тўғри аниқланган.

Жавоб: $H_A = 0$; $V_A = 14 \text{ кН}$; $V_B = -6 \text{ кН}$.

2.1- мисолдаги раманинг таянч бирикмасини *балкасимон* бирикма дейиш мумкин. Шундай бир дискли системаларда вертикал юklar таъсиридан горизонтал реакциялар пайдо бўлмайди. Шундай рамалар яна, *ҳовонсиз рамалар* дейилади.



2.1.2-расм

Системаларда фақат вертикал юklar таъсиридан, реакциянинг *ҳовон* деб номланувчи горизонтал ташкил этувчиси пайдо бўлса, бундай системалар *ҳовонли системалар* дейилади.

2.2-мисол. Раманинг таянч реакциялари аниқлансин (2.1.2- расм).

2.1.2-расмда реакцияларнинг эҳтимолий йўналишлари кўрсатилган. Биринчи мисолдан маълумки, ягона вертикал реакция V_B ни $\sum Y = 0$ шартидан аниқлаймиз:

$$V_B - 2 \cdot 6 - 6 = 0, \text{ бундан } V_B = 18 \text{ кН.}$$

H_B реакциясини топиш учун қолган икки таянч реакциялари таъсир чизиқларининг кесишган нуқтасига нисбатан барча кучлар моментларининг мувозанат тенгламасини тузамиз. Бундай нуқта *момент нуқтаси* дейилади.

$$\sum M_K = 0; \quad -2 \cdot 6 \cdot 3 + 6 \cdot 4 + H_B \cdot 3 = 0, \text{ бундан } H_B = 4 \text{ кН.}$$

H_B реакциясини $\Sigma M_A = 0$ шартидан ҳам топиш мумкин.

H_A реакциясини аниқлаш учун барча кучларнинг x ўқиға проекциялари йиғиндиси кўринишидаги мувозанат тенгламасини тузамиз.

$$\Sigma X = 0; \quad H_A - H_B = 0, \quad H_A = H_B = 4 \text{ кН}.$$

Шундай қилиб, аниқланиши бўйича берилган рама ҳовонли ҳисобланади. Реакциялар мусбат ишорали чикди. Демак, уларнинг йўналишлари тўғри қабул қилинган.

Топилган таянч реакцияларининг тўғрилигини текшириш учун барча кучларнинг A нуқтасига нисбатан моментлари тенгламасини ёзамиз:

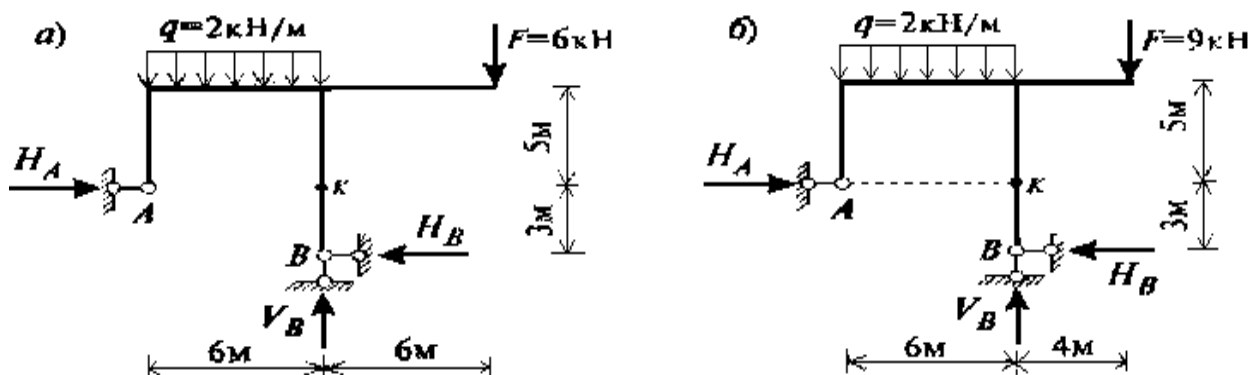
$$\Sigma M_A = 0; \quad 2 \cdot 6 \cdot 3 + 6 \cdot 10 + 4 \cdot 3 - 18 \cdot 6 = 108 - 108 = 0.$$

Жавоб: $H_A = 4 \text{ кН}$, $H_B = -4 \text{ кН}$, $V_B = 18 \text{ кН}$.

Олдинги масалани фақат битта геометрик ўлчамини ўзгартириб ечамиз, кейин эса 2.2- мисолдан йиғиқ кучни қийматини ўзгартириб яна бир марта ечамиз.

2.3- мисол. Рамалардаги таянч реакцияларини топинг (2.1.3, а, б-расм).

2.1.3, а- расмда кўрсатилган рама учун номаълум реакциялар қуйидаги мувозанат тенгламаларидан топилиши мумкин:



2.1.3-расм

$$\Sigma Y = 0; \quad -2 \cdot 6 - 6 + V_B = 0, \quad V_B = 18 \text{ кН}.$$

$$\Sigma M_K = 0; \quad -2 \cdot 6 \cdot 3 + 6 \cdot 6 + H_B \cdot 3 = 0, \quad H_B = 0.$$

$$\Sigma X = 0; \quad H_A - H_B = 0, \quad H_A = H_B = 0.$$

Аниқланиши бўйича берилган рама ҳовонсиз ҳисобланади.

Жавоб: $H_A = 0$; $H_B = 0$; $V_B = 18 \text{ кН}$.

Юқоридагига ўхшаш мувозанат тенгламаларини ёзиб, 2.1.3, б-расмда кўрсатилган рама учун таянч реакцияларини топамиз:

$$\Sigma Y = 0; \quad -2 \cdot 6 - 9 + V_B = 0, \quad V_B = 21 \text{ кН}.$$

$$\Sigma M_K = 0; \quad -2 \cdot 6 \cdot 3 + 9 \cdot 4 + H_B \cdot 3 = 0, \quad H_B = 0.$$

$$\Sigma X = 0; \quad H_A - H_B = 0, \quad H_A = H_B = 0.$$

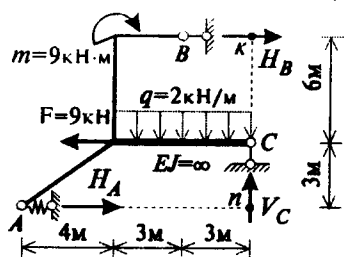
Берилган рама ҳам ҳовонсиз ҳисобланади.

Жавоб: $H_A = 0$; $H_B = 0$; $V_B = 21 \text{ кН}$.

Системанинг ҳовонли ёки ҳовонсизлиги ҳақидаги хулоса, иншоотларнинг ҳисоблаш схемасига, вертикал юкларнинг жойлашиши ва уларнинг қийматлари орасидаги нисбатга, шунингдек системанинг геометрик ўлчамларига боғлиқ бўлади.

Система материалнинг эластик хусусияти ва таянч боғланишларининг мойиллиги статик аниқ системанинг зўриқишлари миқдорига таъсир кўрсатмайди. Шу сабабли, эластик мойил таянч (пружина)ларга эга ва мутлак бикир элементли системаларда таянч реакциялари юқорида кўрсатилган мисоллардагидек аниқланади.

2.4- мисол. Раманинг таянч реакциялари топилсин (2.1.4-расм).



2.1.4-расм

Таянч реакцияларини қуйидаги мувозанат тенгламаларидан аниқлаймиз:

$$\begin{aligned}\sum Y &= 0; & V_C - 2 \cdot 6 &= 0, & V_C &= 12 \text{ кН.} \\ \sum M_K &= 0; & -H_A \cdot 9 + 9 \cdot 6 + 9 - 2 \cdot 6 \cdot 3 &= 0, & H_A &= 3 \text{ кН.} \\ \sum M_n &= 0; & -9 \cdot 3 - 2 \cdot 6 \cdot 3 + 9 + H_B \cdot 9 &= 0, & H_B &= 6 \text{ кН.}\end{aligned}$$

Барча реакциялар «мусбат» ишорада чиқди, демак уларнинг йўналишлари тўғри танланган.

Текшириш: $\sum X = 0; \quad 3 - 9 + 6 = 0.$

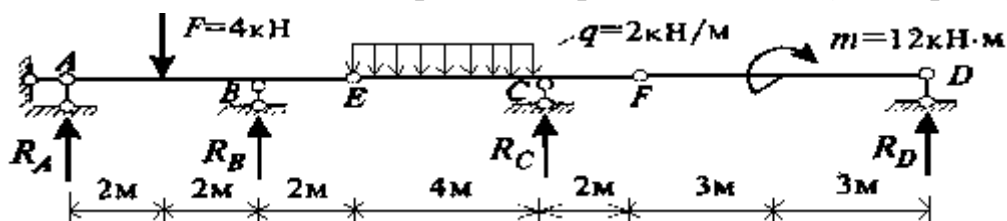
Жавоб: $H_A = 3 \text{ кН}; \quad H_B = 6 \text{ кН}; \quad V_C = 12 \text{ кН}.$

Кўп ораликли (пролетли) статик аниқ балкаларни ҳисоблашга бир неча мисоллар кўрамиз.

Маълум тартибда жойлашган, ўзаро бенуксон шарнирлар билан боғланган статик аниқ система *кўп ораликли шарнир-консолли балка* дейилади.

Кўп ораликли шарнир-консолли балкаларда таянч реакцияларини бевосита ҳисоб схемаси бўйича ҳамда унинг қават схемаси бўйича аниқлаш мумкин. Биринчи ҳолда, статиканинг учта мувозанат тенгламаларига қўшимча шарнирларнинг чап ёки ўнг томонида жойлашган барча кучлардан эгувчи моментларнинг ифодаларини тузиш ва уларни нолга тенглаш керак.

2.5- мисол. Балканинг таянч реакциялари аниқлансин (2.1.5- расм).



2.1.5-расм

Бешта таянч реакцияларини аниқлаш учун бешта мувозанат тенгламаларидан фойдаланиш мумкин:

$$\begin{aligned}1. \sum X &= 0; & H_A &= 0, \\ 2. \sum M_F^{\text{шнр}} &= 0; & 2 - R_D \cdot 6 &= 0, & R_D &= 2 \text{ кН,} \\ 3. \sum M_E^{\text{унз}} &= 0; & -2 \cdot 12 + 12 + 2 \cdot 4 \cdot 2 - R_C \cdot 4 &= 0, & R_C &= 1 \text{ кН.} \\ 4. \sum M_A &= 0; & -2 \cdot 18 + 12 + 2 \cdot 4 \cdot 8 - 1 \cdot 10 - R_B \cdot 4 + 4 \cdot 2 &= 0, & R_B &= 9,5 \text{ кН.} \\ 5. \sum M_E^{\text{чан}} &= 0; & R_A \cdot 6 - 4 \cdot 4 + 9,5 \cdot 2 &= 0, & R_A &= -0,5 \text{ кН.}\end{aligned}$$

R_A реакциясининг олдидаги «минус» ишораси унинг пастга йўналганлигини кўрсатади.

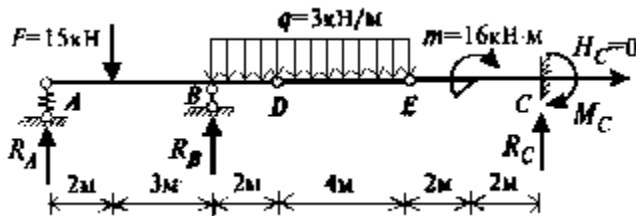
Текшириш: $\Sigma Y=0$; $-0,5-4+9,5-2\cdot 4+1+2=-12,5+12,5=0$.

Жавоб: $R_A=-0,5\text{кН}$; $R_B=9,5\text{кН}$; $R_C=1\text{кН}$; $R_D=2\text{кН}$.

2.6- мисол. Балканинг таянч реакциялари топилсин (2.1.6- расм).

Бу масалада таянч реакцияларини аниқлаш учун иккита тенгламалар системасини тузиш талаб қилинади:

$$\begin{aligned} 1. \Sigma M_D^{чан} &= 0; & \begin{cases} R_A \cdot 7 - 15 \cdot 5 - 3 \cdot 2 \cdot 1 + R_B \cdot 2 = 0 \\ R_A \cdot 11 - 15 \cdot 9 - 3 \cdot 6 \cdot 3 + R_B \cdot 6 = 0 \end{cases} \\ 2. \Sigma M_E^{чан} &= 0; \\ 3. \Sigma M_E^{унг} &= 0; & \begin{cases} M_C - R_C \cdot 4 + 16 = 0; \\ M_C - R_C \cdot 8 + 16 + 3 \cdot 4 \cdot 2 = 0. \end{cases} \\ 4. \Sigma M_D^{унг} &= 0; \end{aligned}$$

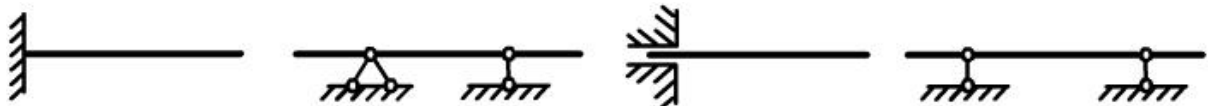


2.1.6-расм

Иккита ёзилган тенгламалар системасини ечиб, таянч реакцияларининг изланган қийматларини топамиз, уларни текшириш эса ижобий натижа беради.

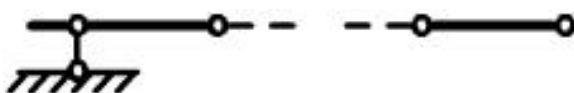
Жавоб: $R_A=5,4\text{кН}$; $R_B=21,6\text{кН}$; $R_C=6\text{кН}$; $M_C=8\text{кНм}$

Баъзи ҳолларда кўп ораликли шарнир-консолли балкаларни ҳисоблаш схемаси бўйича ҳисоблаш оқилона бўлмаслиги мумкин, чунки кўп номаълумли тенгламалар системасини ечиш талаб этилади.



2.1.7- расм

У ҳолда ҳисоблаш қулай бўлиши учун, кучлар таъсирининг бир балкадан бошқа балкага узатилиш табиатини ифодаловчи, қаватлар схемасини тузиш лозим. Шарнирлар олиб қўйилганда балка алоҳида қисмларга бош (асосий) ва иккинчи даражали балкаларга ажралади. Фақат вертикал юклар таъсир қилганда 2.1.7-расмда асосий балкалар 2.1.8-расмда эса иккинчи даражали балкалар кўрсатилган.



2.1.8-расм

Таъкидлаймизки, 2.1.7- расмда келтирилган охирги иккита балкалар биринчи қарашда X ўқи бўйлаб силжувчи бўлиб кўриниши мумкин.

Бироқ қаватлар схемасини тузишда етишмаган горизонтал таянч стерженини бирор бир шарнирдан олиш мумкин, чунки кўп ораликли балка биргаликда горизонтал йўналишда қўзғалмас бўлади.

Ҳисоблаш энг юқоридаги иккинчи даражали балкадан бошланиб, навбати билан пастки балкаларга ўтилади. Юқоридаги балка унга қўйилган юкка ҳисобланади. Сўнггра унинг остидаги балка, унга бевосита қўйилган юкка ва унинг юқорисига қўйилган иккинчи даражали балканинг тескари йўналишида олинган таянч реакциясидан қўшимча юкка, ҳисобланади.

2.7- мисол. Балканинг таянч реакциялари топилсин (2.1.9, *a* - расм)

2.1.9, *b*- расмда қаватлар схемаси келтирилган. Асосий бўлиб *AE* ва *GCD*, иккинчи даражали бўлиб эса *FG* ва *EBF* балкалар ҳисобланади.

Бир бутун балка геометрик ўзгармас ва *X* ўқи бўйлаб қўзғалмасдир. Қаватлар схемасида ҳар бир балка қўзғалмас ва геометрик ўзгармас (учтадан таянч стерженлари бўлиши керак) бўлиши учун, *G* шарниридан битта горизонтал таянч стерженини олиб *C* нуқтадаги таянчга қўйиш керак .

Ҳисобларни юқорида ёзилган тартибда бажарамиз.

1. *FG* балкаси (2.1.9, *в*- расм) : $R_F=R_G=\frac{ql}{2}=\frac{4\cdot6}{2}=12 \text{ кН}.$

2. *EBF* балкаси (2.1.9, *г*- расм):

$$\Sigma M_E = 0; \quad 12\cdot7 - R_B\cdot5 + 11\cdot3 = 0, \quad R_B = 23,4 \text{ кН}.$$

$$\Sigma M_B = 0; \quad -R_E\cdot5 - 11\cdot2 + 12\cdot2 = 0, \quad R_E = 0,4 \text{ кН}.$$

3. *GCD* балкаси (2.1.9, *д*- расм) :

$$\Sigma M_D = 0; \quad -12\cdot7 - 4\cdot3\cdot5,5 + R_C\cdot4 + 8 = 0, \quad R_C = 3,55 \text{ кН}.$$

$$\Sigma M_C = 0; \quad 8 + R_D\cdot4 - 12\cdot3 - 4\cdot3\cdot1,5 = 0, \quad R_D = 11,5 \text{ кН}.$$

4. *AE* балкаси (2.1.9, *е*- расм):

$$\Sigma Y = 0; \quad 0,4 - R_A = 0, \quad R_A = 0,4 \text{ кН}.$$

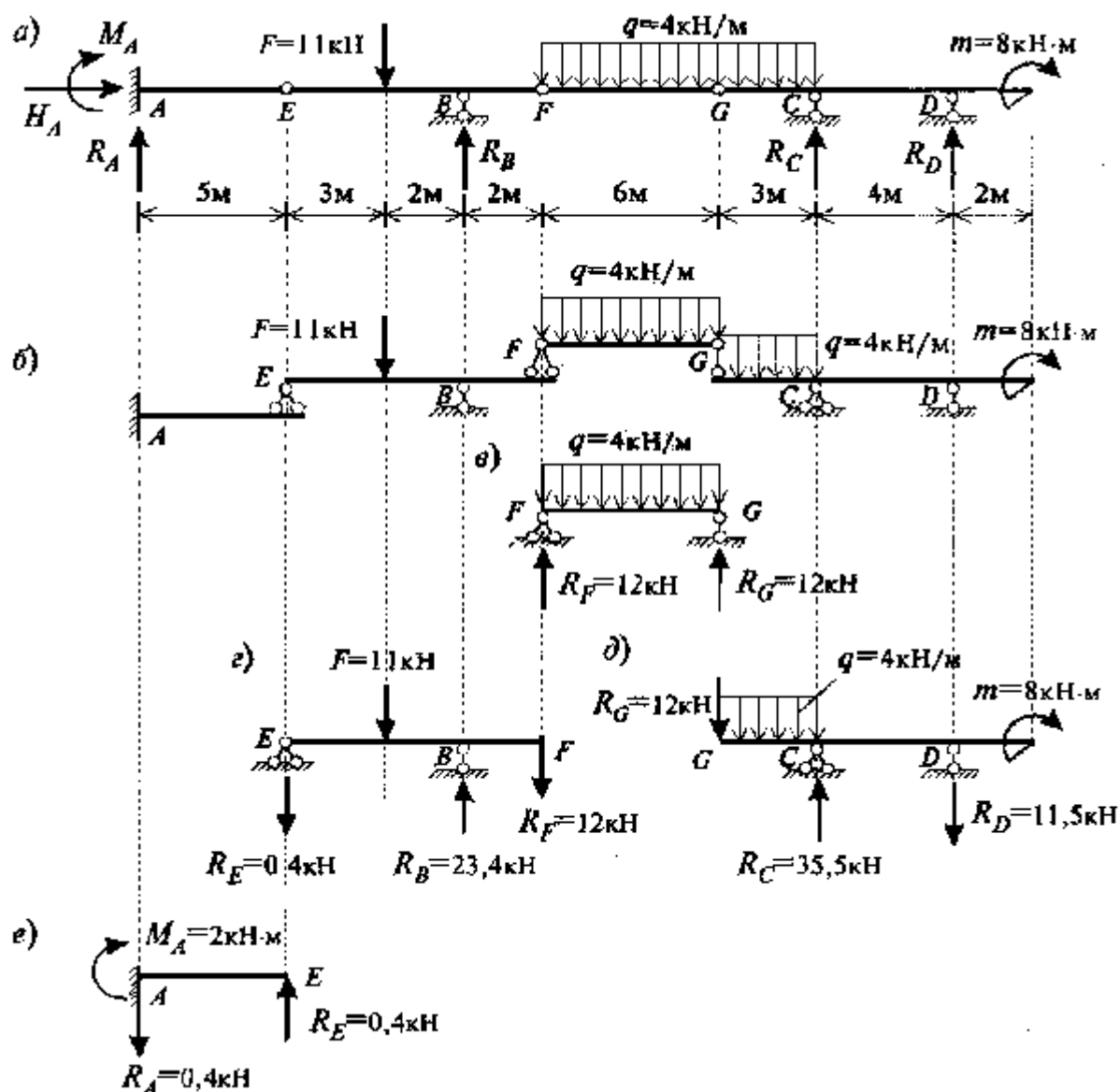
$$\Sigma M_A = 0; \quad M_A - 0,4\cdot5 = 0, \quad M_A = 2 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

2.1.9, *в...е*- расмларда таянч реакцияларининг ҳақиқий қийматлари ва текширилгандан кейинги йўналишлари кўрсатилган.

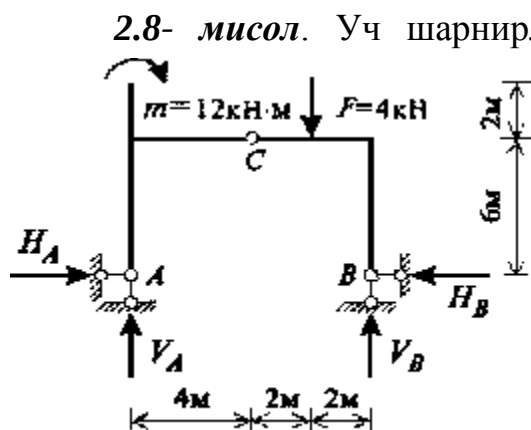
Жавоб: $M_A=2 \text{ кН}\cdot\text{м}$; $R_A=-0,4 \text{ кН}$; $R_B=23,4 \text{ кН}$; $R_D=-11,5 \text{ кН}$

Уч шарнирли рамаларда таянч реакцияларини аниқлашга ўтамиз. Ўзаро шарнир билан боғланган ва ерга (дискка) шарнирли қўзғалмас таянчлар билан маҳкамланган икки дискдан тузилган системага *уч шарнирли рама* дейилади. Таянчлар бир ҳил ёки ҳар ҳил чизикда жойлашиши мумкин. Қурилиш тузилмаларида қўлланиладиган уч шарнирли рамалар одатда, ҳовонли системалар бўлади. Горизонтал босим пастда ётган тузилмага узатилмаслиги учун шарнирли рамаларга торқич киритилади, шарнирли - қўзғалмас таянчларнинг бири шарнирли-қўзғалувчи қилиб алмаштирилади (битта горизонтал таянч стержени олиб ташланади).

Тўртта таянч реакцияларини аниқлаш учун учта маълум мувозанат тенгламалари ёзилади, тўртинчи тенглама эса оралик шарнирининг чап ёки ўнг томонида жойлашган барча кучлардан шу шарнирга нисбатан эгувчи моментларнинг нолга тенглик шартидан тузилади.



2.1.9-расм



2.1.10- расм

2.8- мисол. Уч шарнирли рамада таянч реакциялари аниқлансин (2.1.10- расм). H_A ва H_B горизонтал реакциялари қиймати бўйича тенг ва қарама-қарши йўналган бўлиши керак. Бу қуйидаги шартдан келиб чиқади.

$$\sum X = 0; H_A - H_B = 0, H_A = H_B$$

Вертикал реакцияларни топиш учун, таянч шарнирларига нисбатан ҳамма кучлардан моментлар йиғиндисини нолга тенглаймиз.

$$\sum M_A = 0; -V_B \cdot 8 + 4 \cdot 6 + 12 = 0, V_B = 4.5 \text{ кН.}$$

$$\sum M_B = 0; V_A \cdot 8 + 12 - 4 \cdot 2 = 0, V_A = -0.5 \text{ кН.}$$

Текшириш: $\sum Y = 0; -0.5 - 4 + 4.5 = -4.5 + 4.5 = 0$.

H_A реакциясини, C шарнирдан чапда жойлашган барча кучларнинг шарнирга нисбатан эгувчи моментларини нолга тенглиги шартдан топамиз.

$$\Sigma M_c^{чан} = 0; -0,54 - H_A \cdot 6 + 12 = 0, H_A = 1,667 \text{ кН.}$$

$H_A = H_B$ тенглигини бажарилишини текшириш учун C шарниридан ўнгдаги барча кучлардан эгувчи момент ифодасини тузамиз ва уни нолга тенглаймиз.

$$\Sigma M_c^{унг} = 0; -4,5 \cdot 4 + H_B \cdot 6 + 4 \cdot 2 = 0, H_B = 1,667 \text{ кН.}$$

$$\text{Жавоб: } V_A = -0,5 \text{ кН; } H_A = 1,667 \text{ кН; } V_B = 4,5 \text{ кН; } H_B = -1,667 \text{ кН}$$

2.9- мисол. Раманинг таянч реакциялари топилсин (2.1.12- расм).

$\Sigma M_c^{чан} = 0$ шартидан дарҳол V_A вертикал реакциясини топиш мумкин; $V_A \cdot 4 - 2 \cdot 2 \cdot 3 = 0$, $V_A = 3$ кН. Шундан кейин $\Sigma Y = 0$ шартидан V_B реакциясини аниқлаймиз: $3 - 2 \cdot 2 - 4 \cdot 3 + V_B = 0$, $V_B = 13$ кН. Қолган реакцияларни қуйидаги тенгламалардан топамиз:

$$\Sigma M_B = 0; 3 \cdot 7 + H_A \cdot 4 - 2 \cdot 2 \cdot 6 - 4 \cdot 3 \cdot 1,5 = 0, H_A = 5,25 \text{ кН.}$$

$$\Sigma M_c^{унг} = 0; -13 \cdot 3 + H_B \cdot 4 + 4 \cdot 3 \cdot 1,5 = 0, H_B = 5,25 \text{ кН.}$$

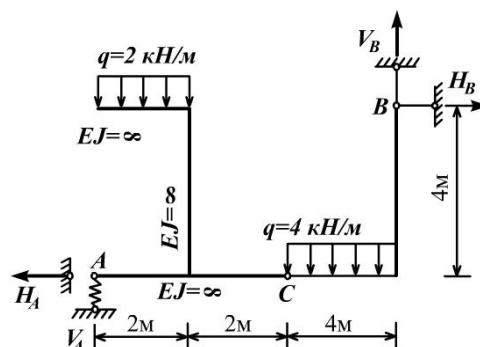
$$\text{Текшириш: } \Sigma X = 0; -5,25 + 5,25 = 0.$$

$$\Sigma M_A = 0; -13 \cdot 7 + 5,25 \cdot 4 + 4 \cdot 3 \cdot 5,5 + 2 \cdot 2 \cdot 1 = 0.$$

$$-91 + 91 = 0.$$

$$\text{Жавоб: } V_A = 3 \text{ кН; } H_A = -5,25 \text{ кН;}$$

$$V_B = 13 \text{ кН; } H_B = 5,25 \text{ кН.}$$



2.1.11-расм

2.10- мисол. Раманинг таянч реакциялари аниқлансин (2.1.12-расм). Таянчлари ҳар хил баландликда бўлган берилган раманинг ўзига хос хусусияти шундан иборатки, унинг бирорта ҳам реакциясини битта мувозанат тенгласидан топиш мумкин эмас. Бу ҳолда икки номаълумли тенгламалар системасини ёзиб, ҳисоблаш керак.

$$\begin{cases} \Sigma M_B = 0; & \{ V_A \cdot 6 + H_A \cdot 2 - 2 \cdot 5 \cdot 0,5 = 0; \\ \Sigma M_c^{чан} = 0; & \{ V_A \cdot 3 + H_A \cdot 6 - 12 \cdot 4 = 0. \end{cases}$$

Системанинг ечимидан:

$$V_A = -2,2 \text{ кН; } H_A = 9,1 \text{ кН.}$$

Қолган реакцияларни бундай топамиз:

$$\Sigma X = 0; -9,1 + 12 - H_B = 0, H_B = 2,9 \text{ кН}$$

$$\Sigma Y = 0; -2,2 - 2 \cdot 5 + V_B = 0, V_B = 12,2 \text{ кН}$$

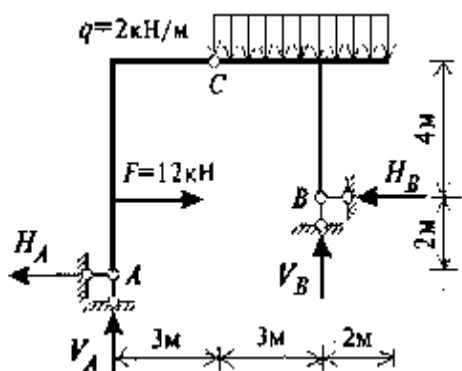
$$\text{Текшириш: } \Sigma M_c^{унг} = 0;$$

$$2,9 \cdot 4 - 12,2 \cdot 3 + 2 \cdot 5 \cdot 2,5 = 36,6 - 36,6 = 0.$$

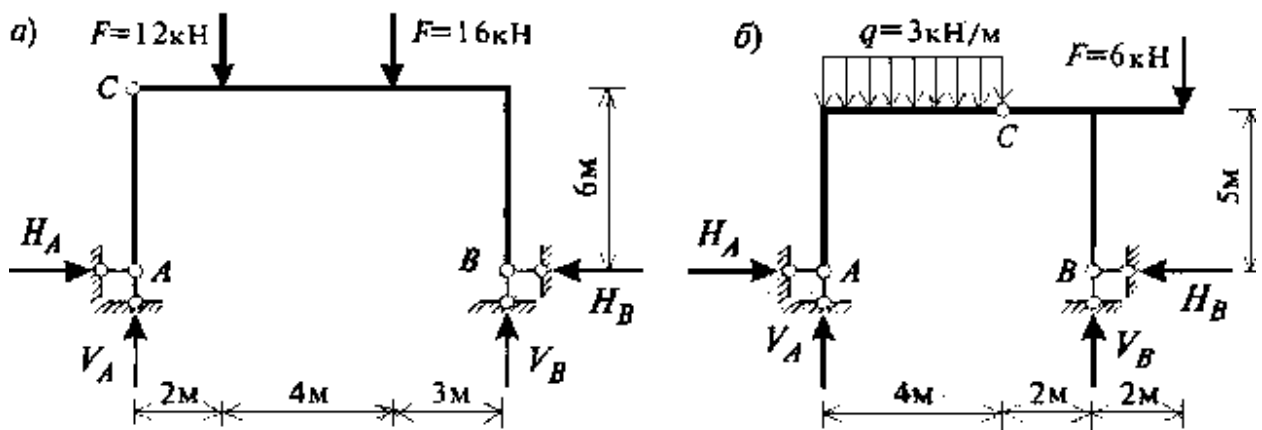
$$\text{Жавоб: } V_A = -2,2 \text{ кН; } H_A = -9,1 \text{ кН; } V_B = 12,2 \text{ кН; } H_B = -2,9 \text{ кН.}$$

2.11-мисол. Раманинг таянч реакциялари аниқлансин (2.1.13, а, б расм)

2.1.13, а- расмда кўрсатилган рама учун таянч реакцияларини аниқлаймиз.



2.1.12-расм



2.1.13- расм

$$\Sigma M_C^{чан} = 0; \quad -H_A \cdot 6 + V_A \cdot 0 = 0, \quad H_A = 0.$$

$$\Sigma X = 0; \quad H_A - H_B = 0, \quad H_B = H_A = 0$$

$$\Sigma M_A = 0; \quad -V_B \cdot 9 + 16 \cdot 6 + 12 \cdot 2 = 0, \quad V_B = 13,333 \text{ кН.}$$

$$\Sigma M_B = 0; \quad V_A \cdot 9 - 12 \cdot 7 - 16 \cdot 3 = 0, \quad V_A = 14,667 \text{ кН.}$$

$$\text{Текшириш: } \Sigma Y = 0; \quad 14,667 - 12 - 16 + 13,333 = 28 - 28 = 0.$$

$$\text{Жавоб: } V_A = 14,667 \text{ кН; } H_A = 0; \quad V_B = 13,333 \text{ кН; } H_B = 0.$$

Шунга ўхшаш, 2.1.13, б- расмда тасвирланган рама учун реакцияларни топамиз.

$$\Sigma M_A = 0; \quad -V_B \cdot 6 + 6 \cdot 8 + 3 \cdot 4 \cdot 2 = 0, \quad V_B = 12 \text{ кН.}$$

$$\Sigma M_C^{унг} = 0; \quad -12 \cdot 2 + 6 \cdot 4 + H_B \cdot 5 = 0, \quad H_B = 0.$$

$$\Sigma M_B = 0; \quad -V_A \cdot 6 - 3 \cdot 4 \cdot 4 - 6 \cdot 2 = 0, \quad V_A = 6 \text{ кН.}$$

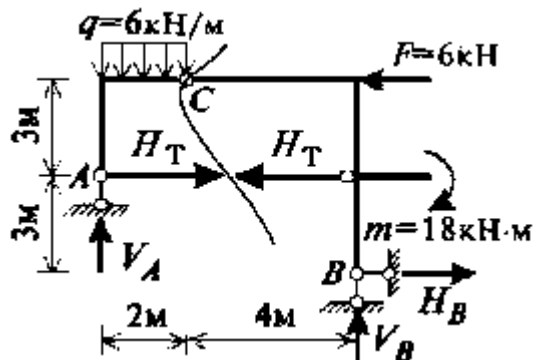
$$\Sigma M_C^{чан} = 0; \quad 6 \cdot 4 - 3 \cdot 4 \cdot 2 - H_A \cdot 5 = 0, \quad H_A = 0.$$

$$\text{Текшириш: } \Sigma Y = 0; \quad 6 - 3 \cdot 4 - 6 + 12 = 18 - 18 = 0.$$

$$\text{Жавоб: } V_A = 6 \text{ кН; } H_A = 0; \quad V_B = 12 \text{ кН; } H_B = 0.$$

2.1.13- расмда келтирилган иккала уч шарнирли аркалар берилган юкланишларда ҳовонсиз бўлади.

2.12- мисол. Таянч реакциялари ва тортқичдаги зўриқиш топилсин (2.1.14- расм).



2.1.14-расм

Таянч реакциялари худди оддий рамалардагидек топилди.

$$\Sigma X = 0; \quad -6 + H_B = 0; \quad H_B = 6 \text{ кН.}$$

$$\Sigma M_B = 0; \quad V_A \cdot 6 - 6 \cdot 2 \cdot 5 - 6 \cdot 6 + 18 = 0; \quad V_A = 13 \text{ кН.}$$

$$\Sigma M_A = 0; \quad -V_B \cdot 6 - 6 \cdot 3 + 18 - 6 \cdot 3 + 6 \cdot 2 \cdot 1 = 0; \quad V_B = -1 \text{ кН.}$$

Тортқичдаги зўриқишни аниқлаш учун тортқични кесувчи ва С шарнири орқали ўтувчи қирқим ўтказамиз. Сўнгра С шарниридан чапдаги ёки ўнгдаги барча кучларнинг эгувчи моментлари ифодасини тузиб нолга тенглаймиз.

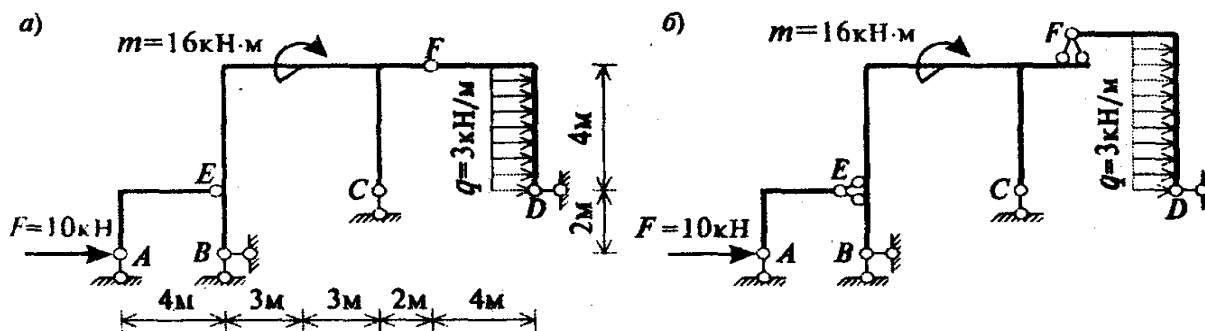
$$\Sigma M_C^{чан} = 0; \quad 13 \cdot 2 - 6 \cdot 2 \cdot 1 - H_T \cdot 3 = 0, \quad H_T = 4,667 \text{ кН.}$$

$$\text{Текшириш: } \Sigma Y = 0; \quad 13 - 6 \cdot 2 - 1 = 13 - 13 = 0.$$

$$\Sigma M_C^{унг} = 0; \quad 1 \cdot 4 - 6 \cdot 6 + 18 + 4,667 \cdot 3 = -36 + 36 = 0.$$

Жавоб: $V_A=13$ кН; $V_B=-1$ кН; $H_B=6$ кН; $H_T=4,667$ кН.

2.13- мисол. Уч оралиқли (учпролётли) раманинг таянч реакциялари топилсин (2.1.15, а - расм).



2.1.15-расм

Бундай раманинг ҳисобини унинг қаватлар схемаси ёрдамида бажариш қулай бўлади. Агар унинг таркибидан шартли зарур шарнирлар олиб ташланса, худди кўп оралиқли балкалардаги каби, унинг таркибига асосий ва ёрдамчи қисмлар киради.

Асосий қисм сифатида: оддий балкалар ва синиқ ўкли балкалар ҳамда оддий, тортқичли ва тортқичсиз уч шарнирли рамалар қабул қилиниши мумкин. 2.1.15, б- расмда раманинг қаватлар схемаси келтирилган.

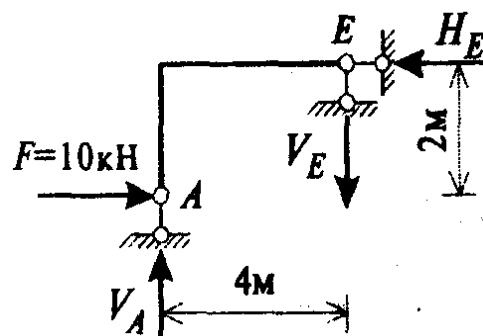
Шундай қилиб, кўп оралиқли (кўп қаватли) мураккаб рамаларнинг ҳисоби, уни ташкил этувчи анча оддий элементларнинг ҳисобига келтирилади. Раманинг ҳисобидаги кетма-кетлик, худди кўп оралиқли шарнир-консолли балкалардагидек қолади. Берилган мисолда, иккита ёрдамчи AE ва FD рамалар E ва F нукталарда BCF асосий оддий рамага таянади. Ҳар бир раманинг ҳисобини алоҳида бажарамиз.

1. Рама AE (2.1.16- расм).

$$\sum X = 0; 10 - H_E = 0, H_E = 10 \text{ кН.}$$

$$\sum M_E = 0; V_A \cdot 4 - 10 \cdot 2 = 0, V_A = 5 \text{ кН.}$$

$$\sum M_A = 0; V_E \cdot 4 - 10 \cdot 2 = 0, V_E = 5 \text{ кН.}$$



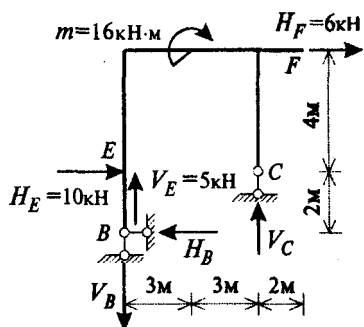
2.1.16-расм

2. Рама FD (2.1.17- расм).

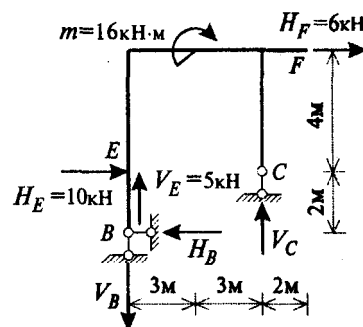
$$\sum Y = 0; V_F = 0.$$

$$\sum M_F = 0; H_D \cdot 4 - 3 \cdot 4 \cdot 2 = 0, H_D = 6 \text{ кН.}$$

$$\sum M_D = 0; -H_F \cdot 4 + 3 \cdot 4 \cdot 2 = 0, H_F = 6 \text{ кН.}$$



2.1.17-расм



2.1.18-расм

3. Рама BCF (2.1.18- расм).

$$\Sigma X = 0; \quad 6 + 10 - H_B = 0. \quad H_B = 16 \text{ кН.}$$

$$\Sigma M_B = 0; \quad -V_C \cdot 6 + 6 \cdot 6 + 16 + 10 \cdot 2 = 0, \quad V_C = 12 \text{ кН.}$$

$$\Sigma M_C = 0; \quad -V_B \cdot 6 + 5 \cdot 6 + 10 \cdot 2 + 16 + 6 \cdot 6 = 0, \quad V_B = 17 \text{ кН.}$$

$$\text{Текшириш: } \Sigma Y = 0; \quad -17 + 5 + 12 = -17 + 17 = 0.$$

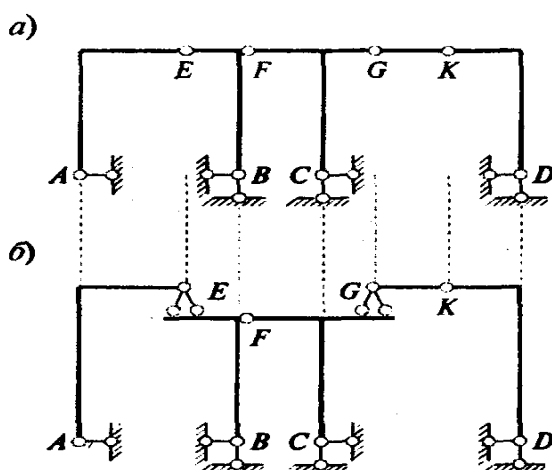
$$\text{Жавоб: } V_A = 5 \text{ кН; } V_B = -17 \text{ кН; } H_B = -16 \text{ кН; } V_C = 12 \text{ кН; } H_D = -6 \text{ кН.}$$

2.14- мисол. Раманинг қаватлар схемаси тузилсин (2.1.19, a - расм).

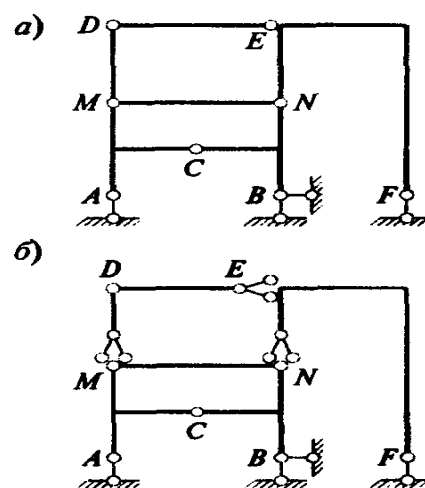
Қаватлар схемаси 2.1.19, b - расмда келтирилган.

AE оддий рама ва GKD уч шарнирли рамалар $EFGCB$ асосий уч шарнирли рамага таянган. Дастлаб юқориги AE ва GKD рамалари ҳисобланади. Сўнггра $EFGCB$ асосий рамаси, юқоридаги рамаларнинг таянч босимларини ҳисобга олган ҳолда ҳисобланади.

2.15- мисол. 2.1.20, a - расмда кўрсатилган раманинг қаватлашган схемаси тузилсин. Қаватлар схемаси 2.1.20, b -расмда кўрсатилган. Тортқичли $AMNBC$ уч шарнирли рама асосий қисм бўлади. Унга NEF оддий рама таянади. Ниҳоят, $AMNBC$ ва NEF рамаларига уч шарнирли MDE рама таянади. Ҳисоблаш MDE рамасидан бошланади, сўнггра NEF рамасининг ҳисобига ўтилади. Ундан сўнг $AMNBC$ рамаси ҳисобланади.



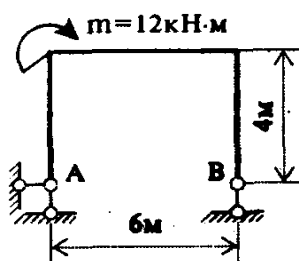
2.1.19-расм



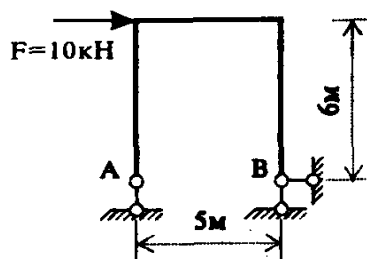
2.1.20-расм

2.1.01...2.1.54 -масалалар. Таянч реакциялари ва тортиқлардаги зўриқишлар H_m топилсин.

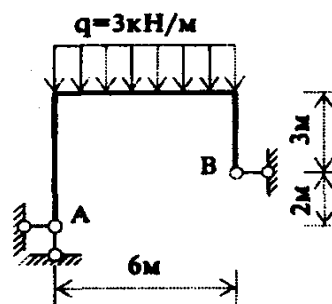
2.1.01



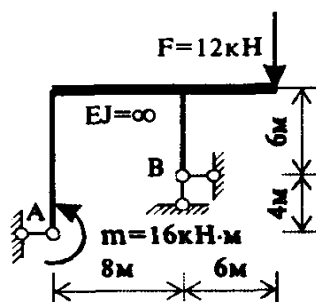
2.1.02



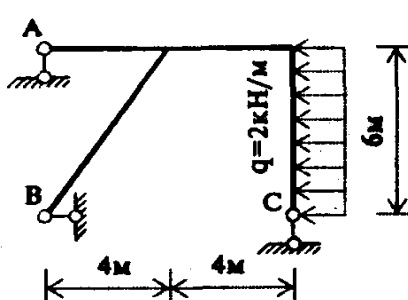
2.1.03



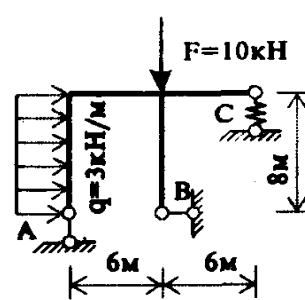
2.1.04



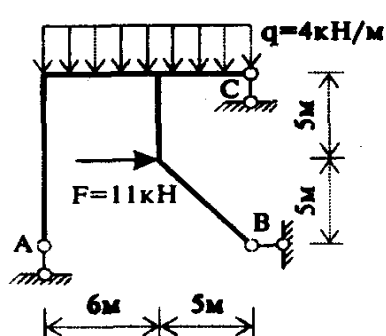
2.1.05



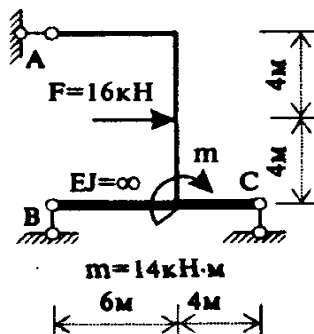
2.1.06



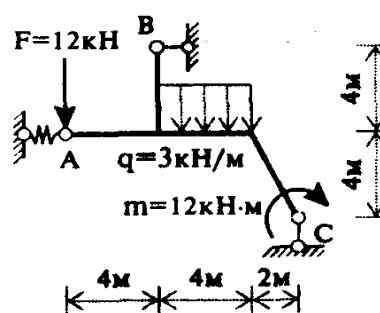
2.1.07



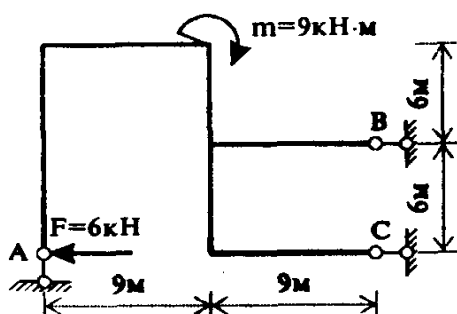
2.1.08



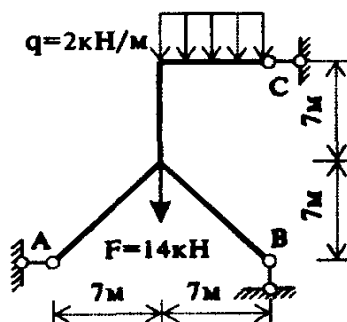
2.1.09



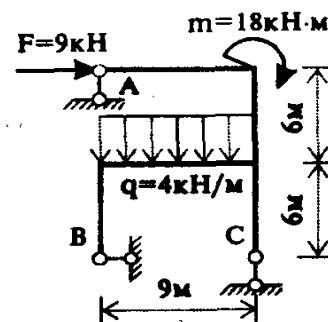
2.1.10



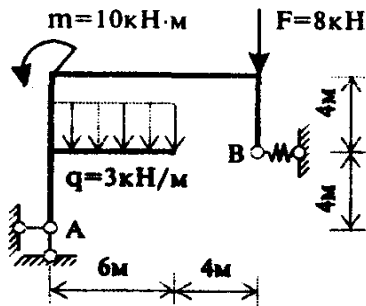
2.1.11



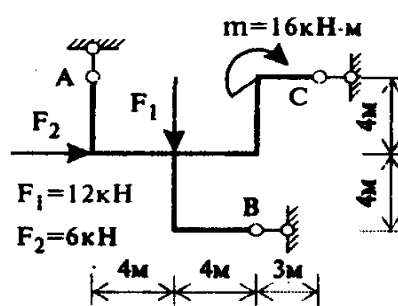
2.1.12



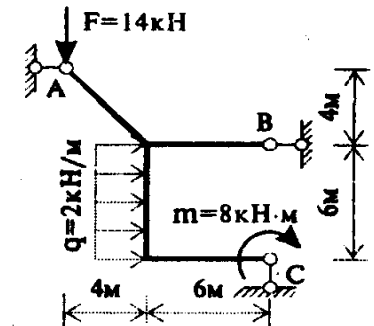
2.1.13



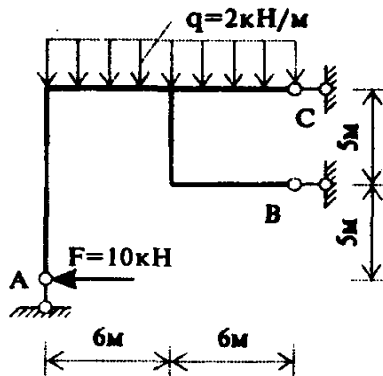
2.1.14



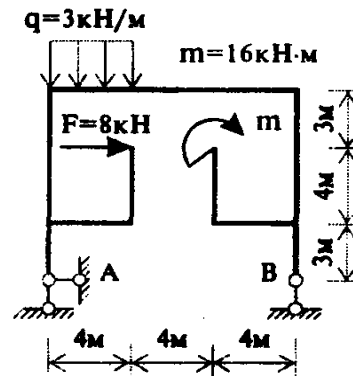
2.1.15



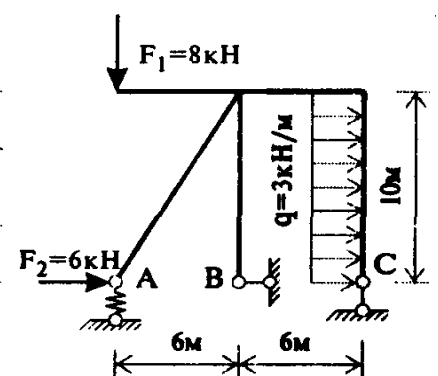
2.1.16



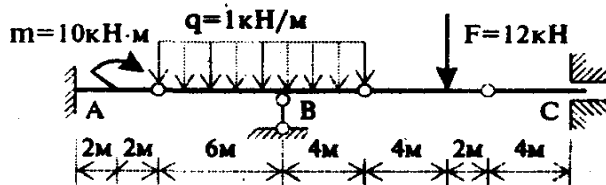
2.1.17



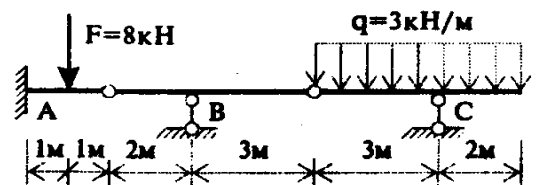
2.1.18



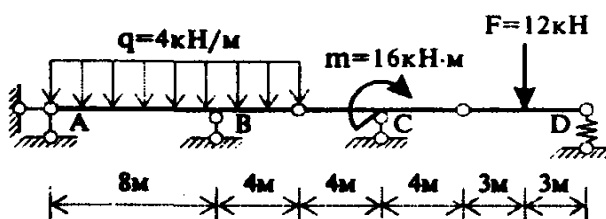
2.1.19



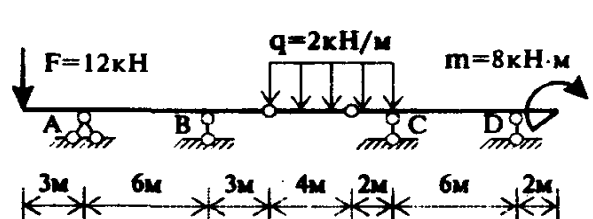
2.1.20



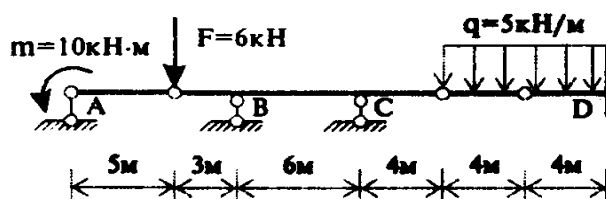
2.1.21



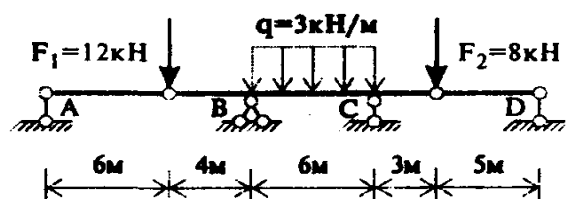
2.1.22



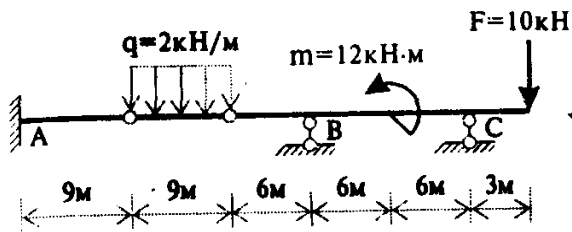
2.1.23



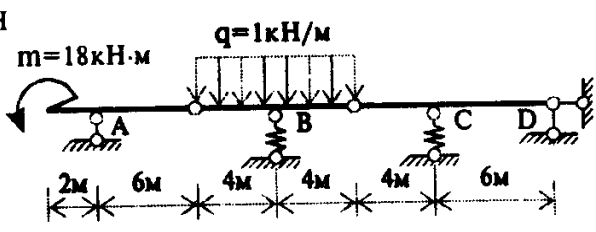
2.1.24



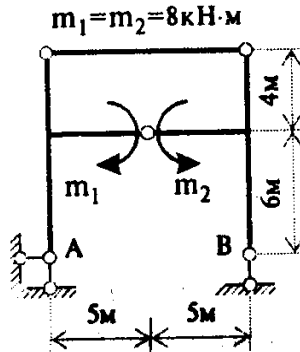
2.1.25



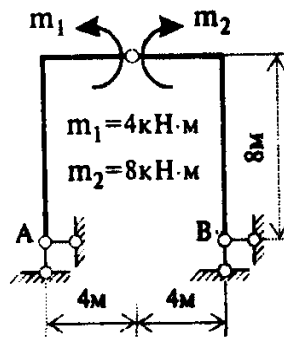
2.1.26



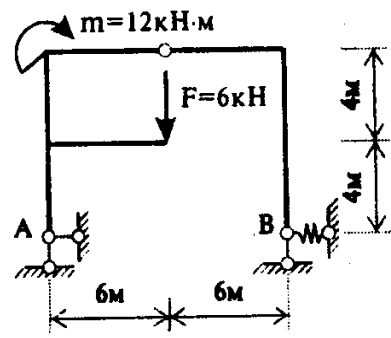
2.1.27



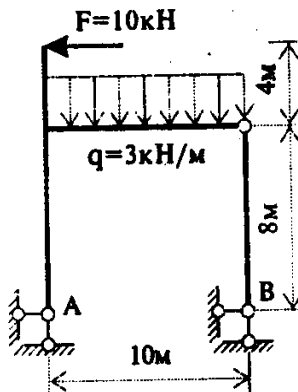
2.1.28



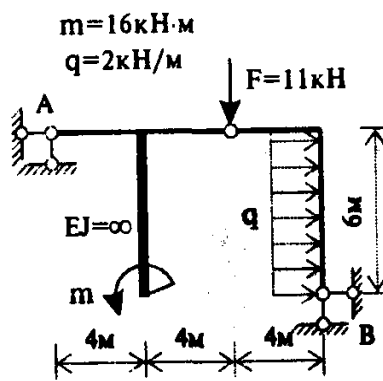
2.1.29



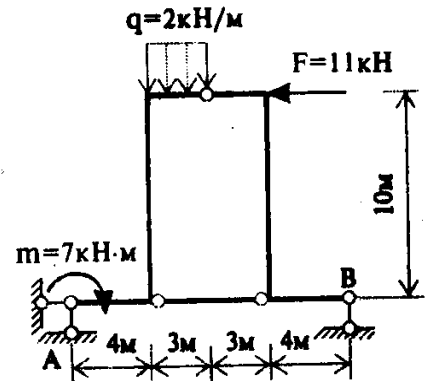
2.1.30



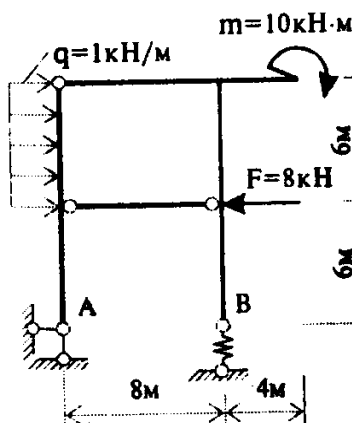
2.1.31



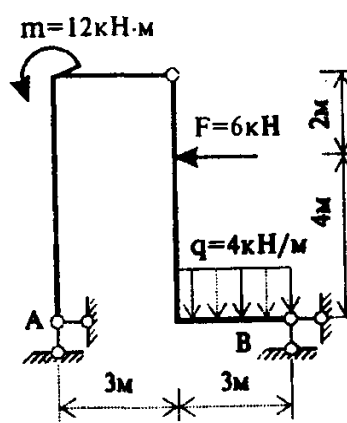
2.1.32



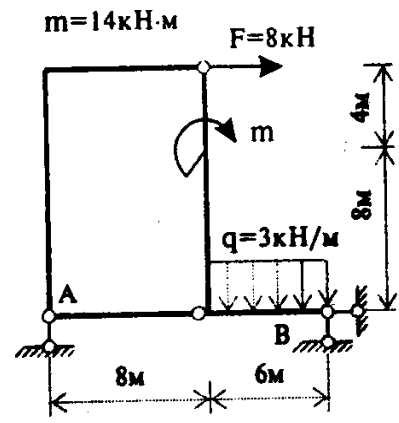
2.1.33



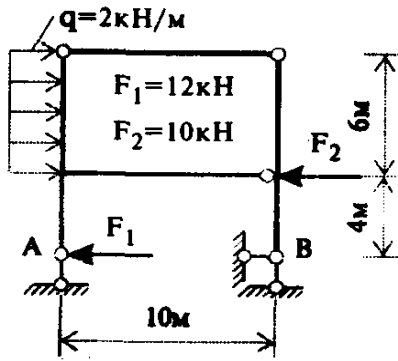
2.1.34



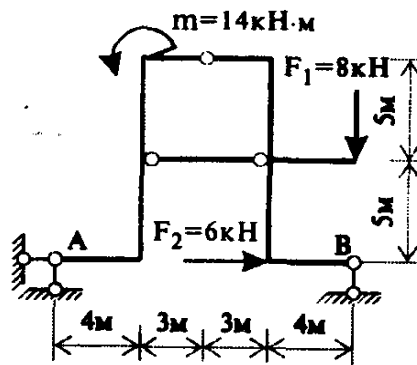
2.1.35



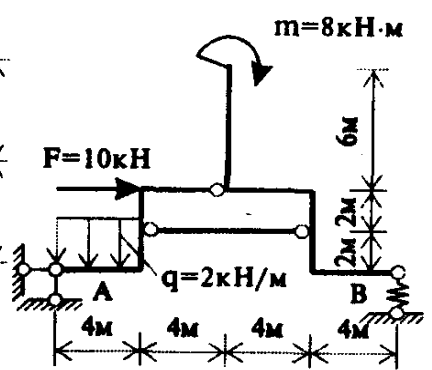
2.1.36



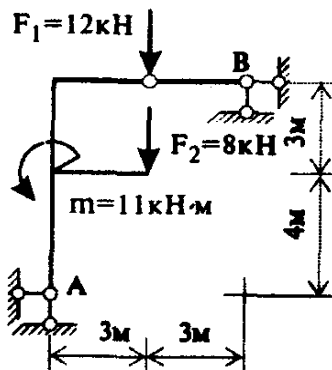
2.1.37



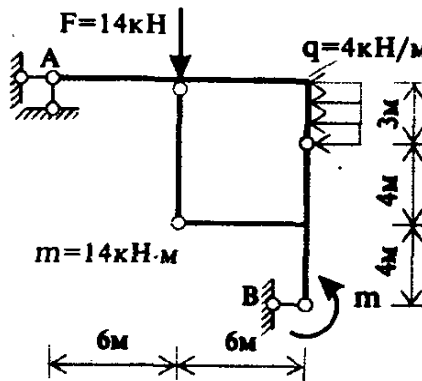
2.1.38



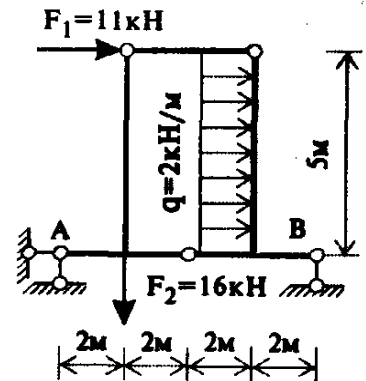
2.1.39



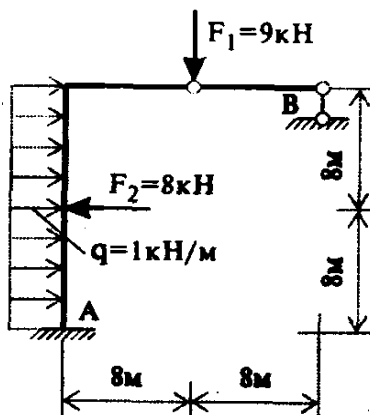
2.1.40



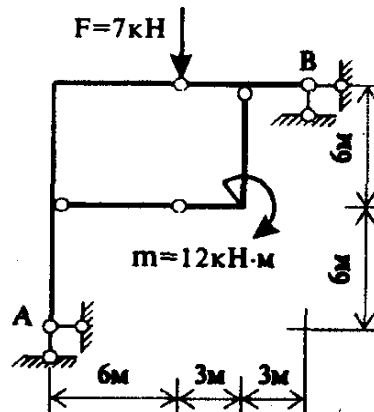
2.1.41



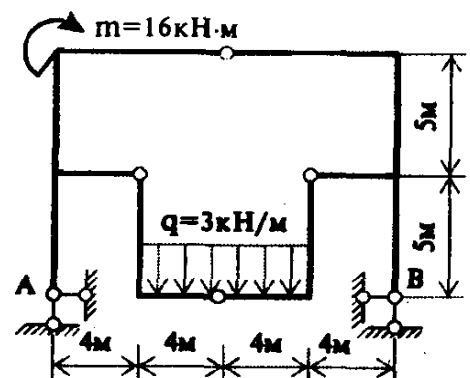
2.1.42



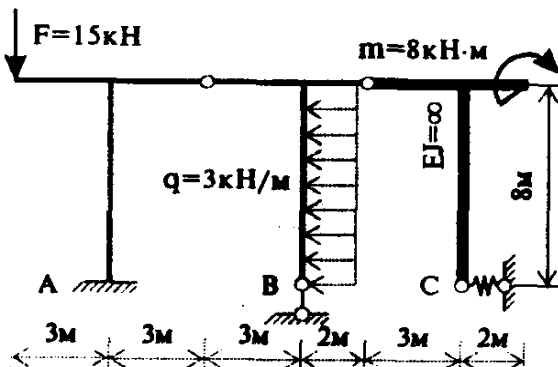
2.1.43



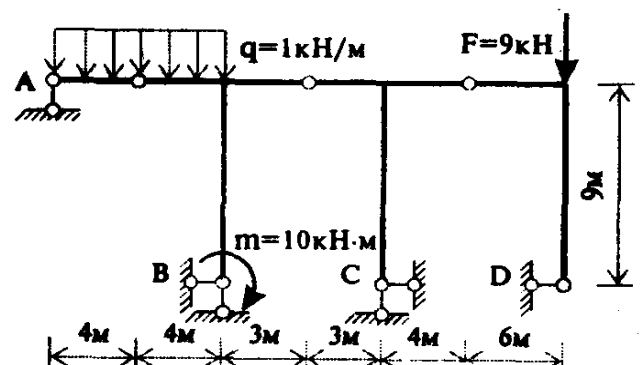
2.1.44



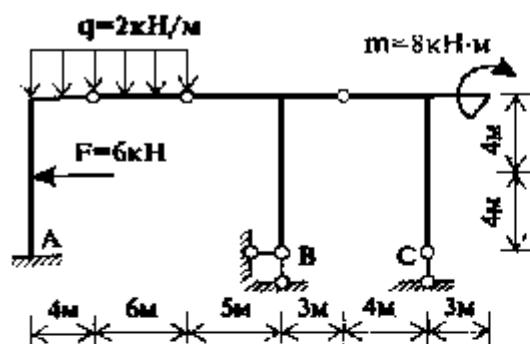
2.1.45



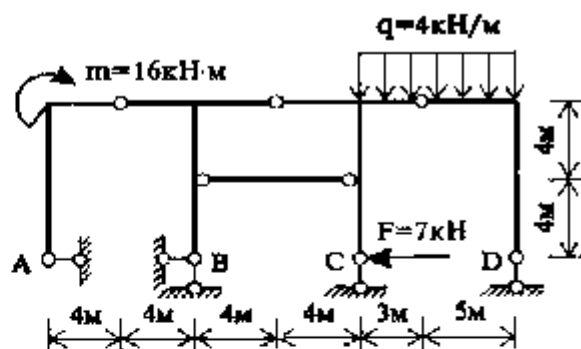
2.1.46



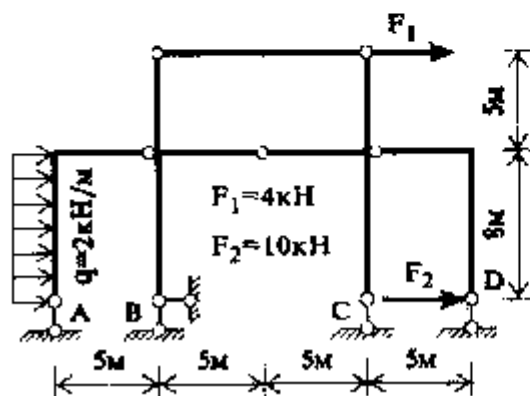
2.1.47



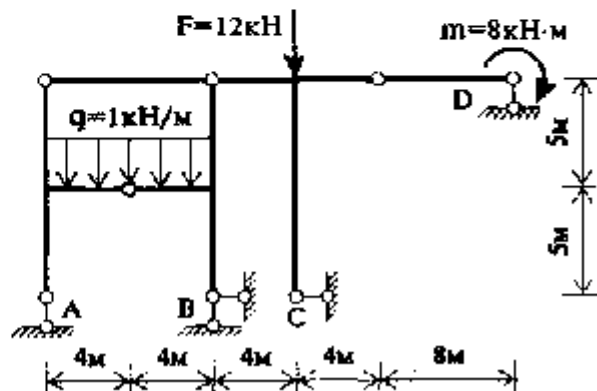
2.1.48



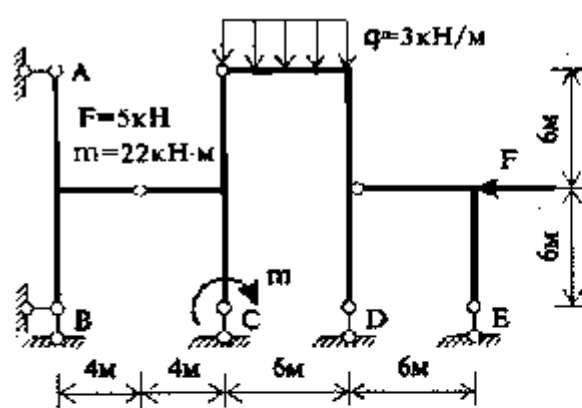
2.1.49



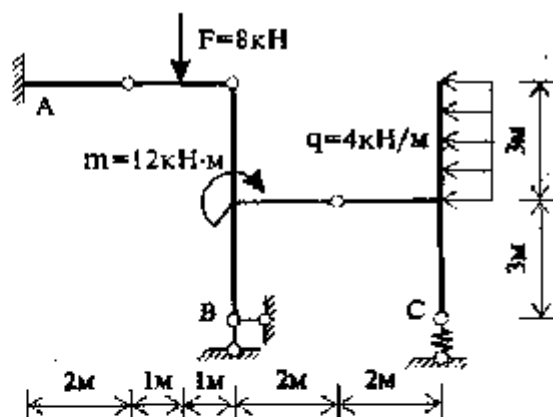
2.1.50



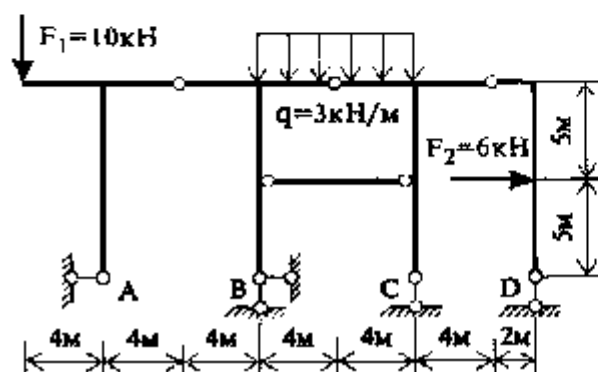
2.1.51



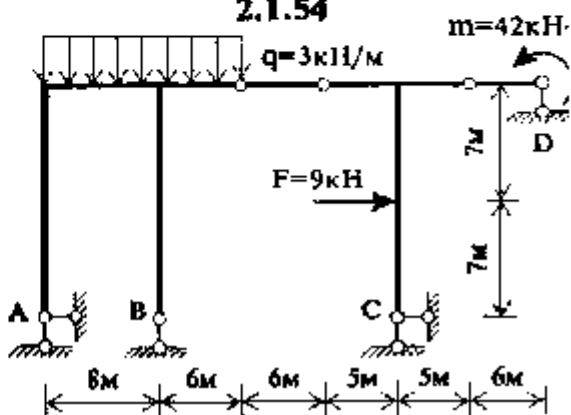
2.1.52



2.1.53



2.1.54



2.2-§ Кўп ораллиқли шарнир-консолли балкалар ва оддий рамаларда ички зўриқишларни аниқлаш.

Ташқи юклар тузилма стерженларида ички кучланиш ҳолатини келтириб чиқаради, улар ҳар бир кўндаланг кесимда маълум катталиқ ва ишорадаги ички зўриқишлар: эгувчи момент, кесувчи ва бўйлама кучлар кўринишида ифодаланади.

Кесимдаги эгувчи момент M , шу кесим оғирлик марказига нисбатан, унинг чап ёки ўнг қисмига қўйилган барча кучлардан моментларнинг алгебраик йиғиндисига тенг. Бу ерда ва бундан буён, таянч реакцияларини ташқи кучлар деб ҳисоблаймиз.

Кесувчи куч Q , кесим ўқиға перпендикуляр ўтказилган ўққа, кесимнинг чап ёки ўнг томонидаги барча кучлар проекцияларининг алгебраик йиғиндисига тенг.

Бўйлама куч N , кесимнинг чап ёки ўнг томонидаги барча кучларнинг кесим ўқиға проекцияларининг алгебрик йиғиндисига тенг.

Агар бирор C кесимнинг эгувчи моменти M , кесувчи кучи Q ва бўйлама кучи N чап қисмининг мувозанат тенгламаларидан топилса, у ҳолда қуйидаги умумий формулалардан аниқланади

$$M_C = \sum M^{чан}; \quad Q_C = \sum Y^{чан}; \quad N_C = \sum X^{чан}; \quad (2.1)$$

Агарда ўнг қисмининг мувозанат шартидан топилса, келтирилган формулалар тескари ишоралар билан олинади:

$$M_C = -\sum M^{унг}; \quad Q_C = -\sum Y^{унг}; \quad N_C = -\sum X^{унг}, \quad (2.2)$$

Система ҳар бир элементи узунлиги бўйича ички зўриқишларни ўзгаришини ифодаловчи график эгувчи момент M , кесувчи куч Q ва бўйлама куч N ларнинг эпюралари бўлади.

Рамаларни (балкаларни) ҳисоблашда, таянч реакциялари аниқлангандан сўнг, рама тугунларида учрашувчи стерженларнинг чекка кесимларидаги, ташқи йиғиқ кучлар (M эпюрасининг синиш нуқтаси) ва моментлар (M эпюрасидаги сакраш) қўйилган нуқталарда эгувчи моментлар аниқланади: интенсивлиги q га тенг ясси ёйилган юк қўйилган бўлакда эгри чизиқли эпюра олиш учун, чекка кесимлари бўйича олинган эпюрага ўрта кесимида $\frac{ql^2}{8}$ ординатали парабола шаклидаги M эпюраси «осилади».

Рамалар учун M эпюрасида ишоралар қўйилмайди, эгувчи момент эпюрасининг ўзи, *чўзилган* толалар томонига қурилади.

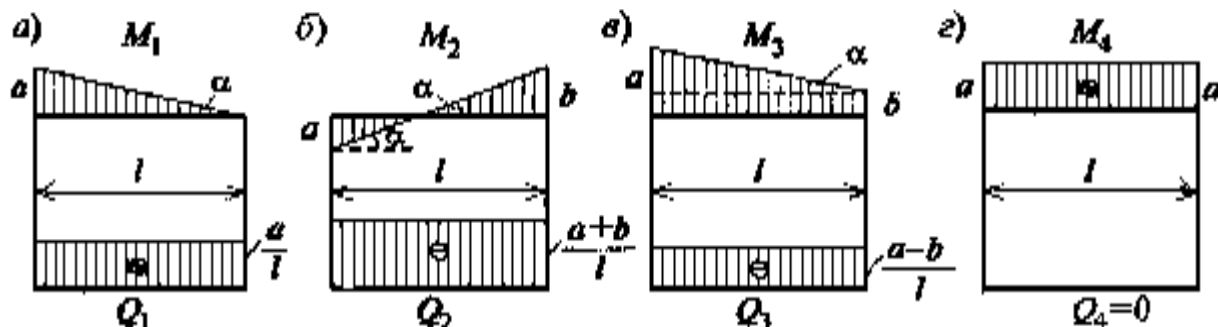
Агар балкага таъсир қилувчи эгувчи момент унинг остки толаларини чўзса, мусбат ишорали бўлади. Раманинг M эпюрасини қуришда чўзилган толага автоматик равишда тушиш учун унинг ҳар бир элементини горизонтал деб ёки ўзингизни, рама ичида юзи билан унинг ҳар бир элементига навбати билан бурилаётган, кузатувчи сифатида тасаввур қилинг. Бу ва бошқа ҳолатларда, олинган, эгувчи моментнинг мусбат қийматини стержен ўқидан пастга (кузатувчига), манфий қийматни эса юқорига (кузатувчидан) қўямиз. Кузатувчининг ҳар қил ҳолатларини юмалокни ичидаги сон билан, унинг нигоҳи йўналишини стрелка билан белгилаймиз. Бошқача қилиш ҳам

мумкин. Агар берилган рамани характерли нукталар оркали қирким бериш ёрдамида қатор консол балка ва синиқ ўкли консол балкаларга ажратилса, бизни қизиқтирган кесимлардаги чўзилган толаларни шу кесимнинг моментиға энг катта хисса қўшган битта юкдан аниқлаш мумкин (қолганларини, агар улар бўлса, ҳаёлан олиб ташлаймиз).

Q эпюрасини M эпюраси бўйича $Q = dM/dx = \tan \alpha$ боғланишни ҳисобга олиб қурилади, яъни кесувчи куч миқдор жихатидан шу кесимдаги момент эпюрасига уринманинг қиялик бурчаги тангенсига тенг. Агар M эпюраси тўғри чизикли бўлса, у ҳолда α - эпюра чизиғи билан стержен ўқи орасидаги бурчак. Q нинг ишорасини аниқлаш учун стержен ўқини M эпюраси билан устма-уст келгунча буриш керак. Агар бурилиш соат стрелкаси йўналиши бўйича бўлса, ишора «мусбат», тескари бўлса «манфий».

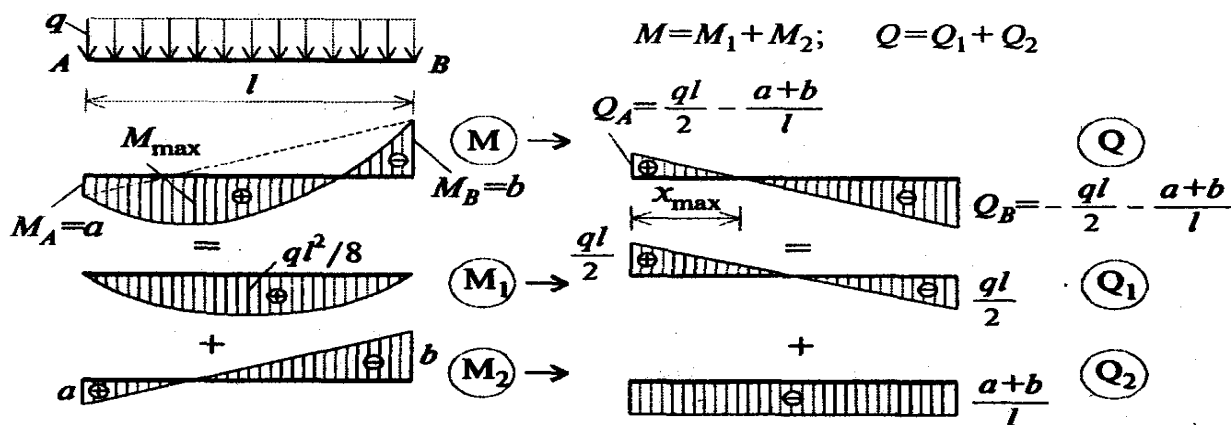
Бошқа қоида: агар стерженнинг қирқилган қисми қарама-қарши томонга нисбатан соат стрелкаси йўналиши бўйича буралса, кесувчи куч мусбат ҳисобланади. 2.2.1, а...г- расмларда тўғри чизикли момент эпюралари ва уларга мос кесувчи куч эпюралари келтирилган.

Ясси ёйиқ юкли бўлакда эгувчи момент қабариклиги q юки йўналиши



2.2.1-расм

бўйича йўналган квадрат парабола қонуният бўйича, кесувчи куч эса чизикли қонуният бўйича (стержен ўқиға оғма тўғри чизик) ўзгаради. Шундай ҳолатларда кесувчи куч эпюраларини қуришда қулай бўлиши учун M эпюрасини иккита ташкил этувчиларга ажратиш тавсия қилинади: квадрат парабола ва трапецияга ёки учбурчакка. Ҳар бир ташкил этувчилар учун



2.2.2-расм

ўзининг Q эпюраси қурилади, уларнинг йиғиндиси шу бўлак учун якуний эпюра бўлади (2.2.2- расм).

Q эпюраси стержен ўқини кесиб ўтган ($Q=0$) кесимларда эгувчи момент энг катта ёки энг кичик қийматларга тенг бўлади. Материаллар қаршилиги курсидан маълумки, $x_{\max}=Q_A/q$, $M_{\max}=M_A + \Omega_Q$, бу ерда $\Omega_Q=Q_A \cdot x_{\max}/2 - A$ дан $x_{\max}$ гача бўлакдаги Q эпюрасининг майдони; M_A ўз ишораси билан олинади.

Агар бўйлама куч N стерженни чўзса, яъни тугундан кетувчи йўналишда бўлса мусбат ҳисобланади.

Бўйлама куч эпюраси кесувчи куч эпюраси бўйича тугун кесиш усулида қурилади, тугун кесиш икки стерженли тугундан бошланади. Кесилган тугун ҳар бир стерженига Q эпюрасидан олинган кесувчи кучлар қўйилади. «Мусбат» ишорали кесувчи куч тугунни соат стрелкаси йўналиши бўйича, «манфий» ишоралиги эса тескари бурайди. Шундан сўнг стержен бўйлаб тугундан кетувчи мусбат бўйлама кучлар қўйилади ва барча кучларнинг x ва y ўқларига проекцияларининг йиғиндиси кўринишида иккита мувозанат тенгламалари тузилади. Агар тугунга ташқи йиғиқ куч қўйилган бўлса, албатта $\sum X=0$ ва $\sum Y=0$ тенгламаларини тузишда ҳисобга олинади.

Уч стерженли (тўрт стерженли ва ҳоказо) тугунлар қаралганда, албатта бўйлама кучлардан бири (иккитаси ва ҳоказо) олдиндан топилган бўлиши керак.

Жуда кўп ҳолларда изланувчи бўйлама кучлар, тугун учун мувозанат тенгламаларини ёзмасдан, дилда аниқланиши мумкин (мантикий мулоҳазалар йўли билан). Ҳар бир стержен учун икки қўшни тугунлар орасида N эпюраси тўғри тўртбурчак кўринишида бўлади (бўйлама юк қўйилмаганда).

M , Q , N эпюраларини қуришда ва уларни тўғрилигини текшириш учун қуйида келтирилган қоидалар қўлланилади:

1. Стерженнинг юкланмаган бўлагида M эпюраси тўғри чизиқли, Q эпюраси доимий (тўрт бурчакли кўринишда) бўлади.

2. Стержен бўлагининг йиғиқ кучлар F қўйилган нуқтасида M эпюрасида куч таъсири томонига йўналган синиш бўлиши керак, Q эпюрасида эса қўйилган F кучига катталиги бўйича тенг сакраш бўлади. N эпюрасида бунинг таъсири бўлмайди (2.2.3, а- расм).

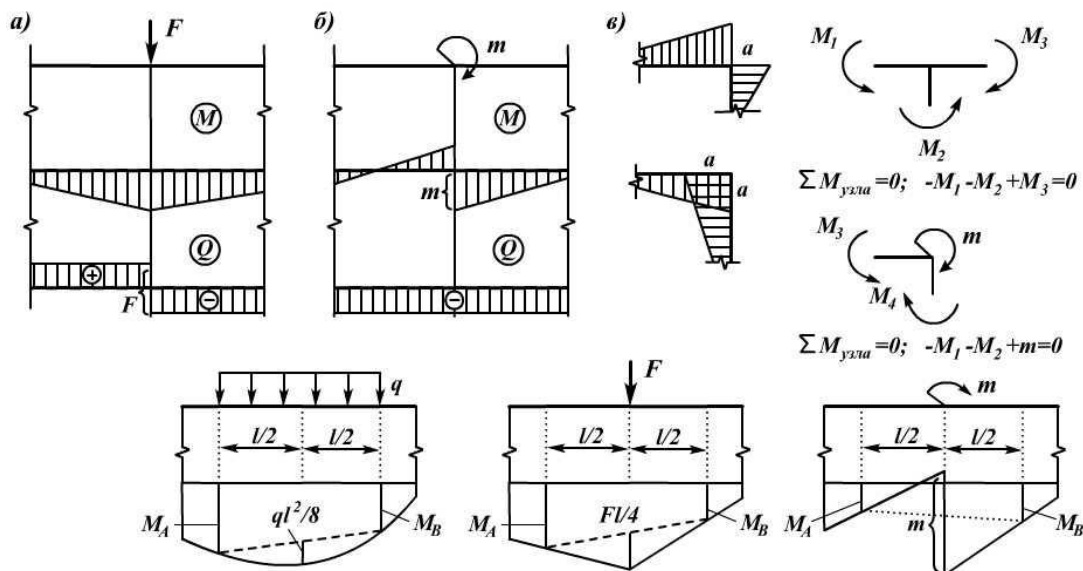
3. Стержен бўлагининг йиғиқ момент m қўйилган нуқтасида қўйилган момент m га катталиги бўйича тенг сакраш бўлиши керак, m эпюрасининг бу нуқтадан чап ва ўнг тармоқлари паралел бўлиши керак.

Бу Q ва N эпюраларига таъсир қилмайди (2.2.3, б- расм).

4. Ясси ёйиқ юк билан юкланган бўлакда M ва Q эпюрасининг ҳолати юқорида ёзилган (2.2.2- расм, 52- бетга қаранг).

5. Йиғиқ момент билан юкланмаган икки стерженли тугуннинг мувозанат шартидан, моментлар эпюраси ташқи толадан ташқарига, ички толадан ичкарига кўчирилади (2.2.3, в- расм).

6. Агар шарнирга чексиз яқин кесимга ташқи йиғиқ момент қўйилмаган бўлса, шарнирда момент нолга тенг.



2.2.3-рasm

7. Агар стержен учига ташқи йиғиқ момент m қўйилган бўлса, у ҳолда ички эгувчи момент шу момент m га тенг, қўйилмаган тақдирда эса ички момент нолга тенг.

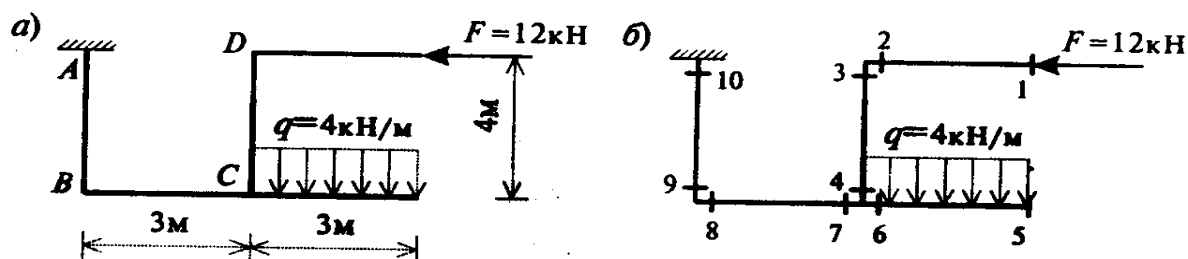
8. Раманинг ҳамма тугунлари учун (2.2.3, ε - рasm) қуйидаги шарт бажарилиши керак

$$\sum M_{\text{тугун}} = 0.$$

9. Агар q юки ёки ёки F , ёки m билан юкланган ℓ узунликдаги стерженнинг тўғри чизикли бўлагида моментлар эпюрасининг икки чекка ординаталари маълум бўлса, у ҳолда унга балканинг маълум момент эпюрасини «осиш» керак (2.2.3, $\delta \dots \text{ж}$ - расмлар).

10. Q ва N эпюраларини текшириш учун рамани таянчлардан ажратилади, уларнинг таъсири Q ва N эпюраларидан олинган ички кучлар билан алмаштирилади. Сўнгра ташқи юкларни ҳам ҳисобга олиб $\sum X=0$, $\sum Y=0$ мувозанат тенгламалари тузилади.

Охирида, материаллар қаршилиги курсида қаралган, оддий балкалар учун ички зўриқишлар эпюраларининг жадвалини келтирамиз (балкаларнинг деформацияси пунктир чизикда кўрсатилган), 2.1-жадвал. Турли системаларда ички зўриқиш эпюраларини қуришга бир неча мисоллар кўрамыз.



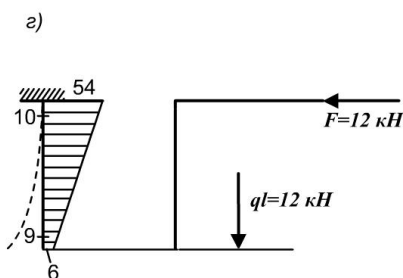
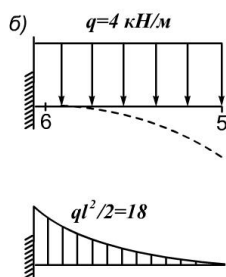
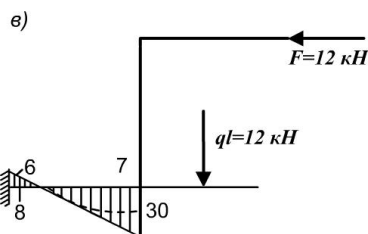
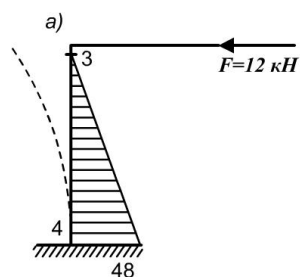
2.2.4-рasm

2.16- мисол. Синик ўқли консол балканинг M, Q, N эпюралари қурилсин (2.2.4, a - рasm).

Эгувчи момент эпюраларини куриш.

Синиқ ўқли консол балкаларда M эпюраси қистирилган таянчдаги реакцияларни аниқланмасдан курилади. Уни куриш учун эгувчи моментнинг бир неча характерли кесимлардаги қийматларини топиш зарур (2.2.4, б-расм).

1-2 стерженда $F=12$ кН кучи унга бўйлама таъсир қилганлиги сабабли $M_1=M_2=0$ (F кучининг 1 ва 2 нуқталарга нисбатан елкаси нолга тенг) D



2.2.5-расм

тугуннинг мувозанатидан $M_3=0$ келиб чиқади. 3–4 стерженида юк йўқлиги сабабли M эпюраси тўғри чизиқли бўлади. Тўғри чизиқни куриш учун стержен учларидаги моментларни топиш керак. 3-нуқтадаги момент маълум ва у нолга тенг. 4-нуқтадаги моментни аниқлаш учун у орқали кесим ўтказамиз ва пастки қисмини қистирилган таянч билан биргаликда ташлаб юборамиз, кесимни ўзини эса ҳаёлан қистирилган таянч қилиб

маҳкамлаймиз (2.2.5, а-расм).

Дастлаб 4- нуқтадаги моментнинг сон қийматини аниқлаймиз:

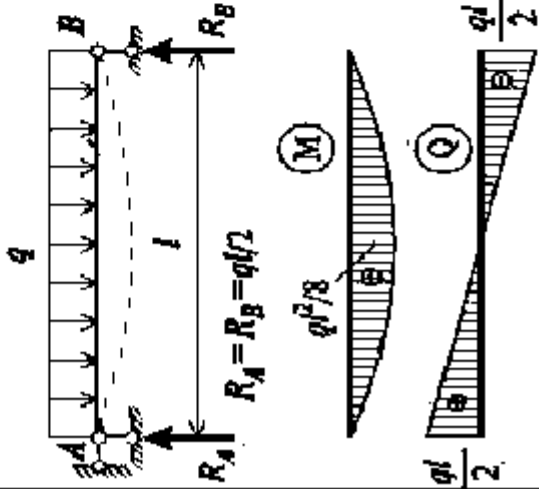
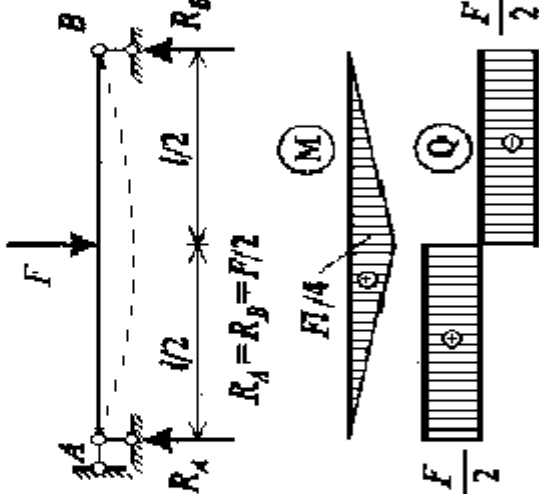
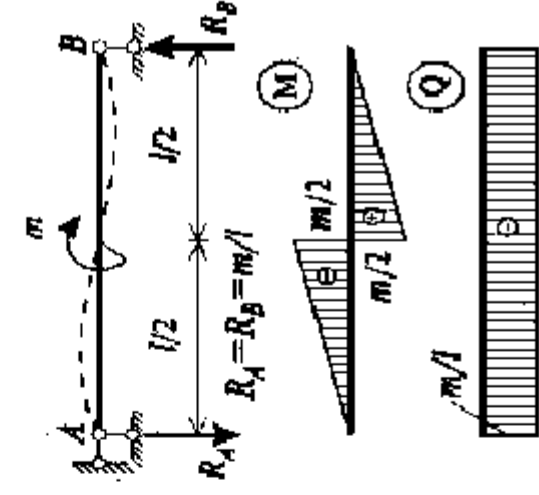
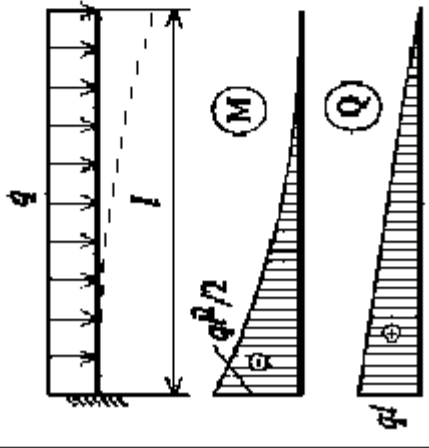
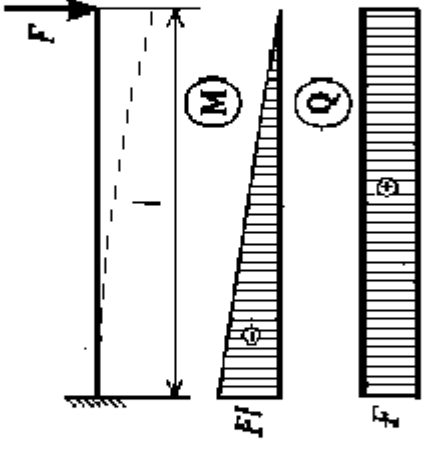
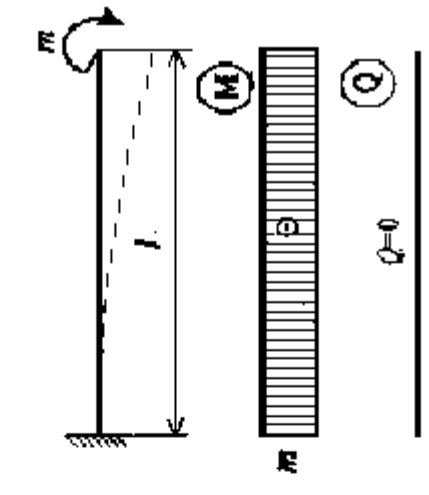
$M_4=F \cdot 4=12 \cdot 4=48$ кН·м . F кучи таъсиридан вертикал стержен 2.2.5, а- расмда кўрсатилганидек эгилади, яъни ўнг толалар чўзилувчи бўлади. Шундай таъсир ва фикрлашдан сўнг устуннинг ўнг томонига M эпюрасини чизиш мумкин (2.2.5, а- расм). Бу эпюрани дарҳол чизиш мумкин эди (21- жадвал, 5- вазият).

Сўнгра 6- нуқта орқали кесим ўтказамиз, қистирилган таянч билан чап қисмини ташлаб юборамиз, кесимни ўзини юқоридагидек ҳаёлан маҳкамлаймиз (2.2.5, б- расм). Консол балканинг деформациясини ифодаловчи пунктир чизиқ юқorigи толалар чўзилувчи бўлишини кўрсатади, шундай балка учун момент маълум формула бўйича ҳисобланади:

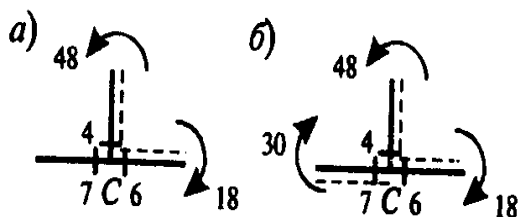
$$M_6 = - \frac{ql^2}{2} = - \frac{4 \cdot 3^2}{2} = -18 \text{ кН} \cdot \text{м} .$$

5-6 стержен учун жадвалдан олинган момент эпюраси (2.1-жадвал, 4- вазият) 2.2.5, б- расмда келтирилган.

2.1-жадвал

№ д/л	юкланиш шакллари M, Q эюралари	№ д/л	юкланиш шакллари M, Q эюралари	№ д/л	юкланиш шакллари M, Q эюралари		
1		2		3		4	
5		6					

7 ва 8-кесимлар орасидаги стержен бўлагиди юк бўлмаганлиги сабабли, M эпюраси тўғри чизикли бўлади ва уни қуриш учун икки нуқтада (7 ва 8) моментлар қийматини ҳисоблаш етарли бўлади. 7-кесимдаги моментни уч стерженли C тугунининг мувозанат шартидан топамиз (2.2.6- расм).



2.2.6-расм

3-4 стерженида ўнг толалар чўзилувчи бўлади. Тугунда буни ёйсимон стрелка кўринишида график тасвирланади, унинг бошланиши стерженнинг чўзилувчи томонидан жойлашади. Сўнгра, фақат шу стерженни кесиб ўтмай айланамиз, ёйсимон стрелка охирини кўрсатувчи стрелка қўйилади ва

момент қиймати ёзилади (2.2.6, а- расм).

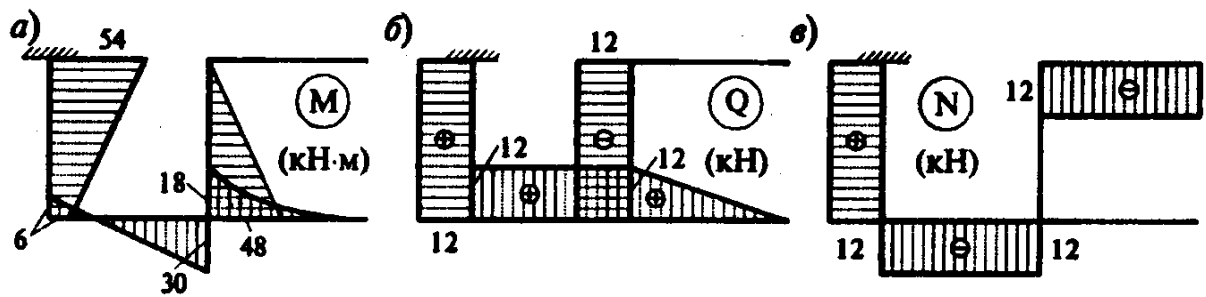
5-6 горизонтал стерженида юқори толалар чўзилувчи бўлади. Шунинг учун ёйсимон стрелка бошланишини стержен тепасидан қўямиз ва уни кесмай соат стрелкаси ҳаракати бўйича айланамиз (2.2.6,а- расм). C тугундаги мувозанатлашмаган моментнинг алгебраик йиғиндиси $30 \text{ кН}\cdot\text{м}$ га тенг ва соат стрелкаси ҳаракатига тескари йўналган. $\Sigma M_{\text{муз}}=0$ шартини бажариш учун, C тугунига (аниқроғи 7-8 стерженининг 7-кесими) $30 \text{ кН}\cdot\text{м}$ га тенг ва соат стрелкаси ҳаракати бўйича йўналган момент қўйиш керак. Буни бажариш мумкин, агар ёйсимон стрелка бошланишини 7-8 стерженининг остига жойлаштириб уни кесмай, соат стрелкаси ҳаракати бўйича айланилса. Ёйсимон стрелка бошланиши стержен остида бўлганлиги сабабли ҳам пастки толалар чўзилувчи бўлади (2.2.6, б- расм). Тугунга туташувчи стерженнинг чўзилувчи толалари пунктир q билан белгиланган.

Шундай қилиб, $M_7=30 \text{ кН}\cdot\text{м}$. 2.2.5, в- расмдан $M_8=F \cdot 4 - q \cdot l \cdot 4,5 = 12 \cdot 4 - 4 \cdot 3 \cdot 4,5 = -6 \text{ кН}\cdot\text{м}$. келиб чиқади. M_8 моментнинг қийматига энг катта ҳиссани ясси ёйилган q юки қўшди. Шунинг учун, F кучини ҳаёлан олиб ташлаш мумкин, қолган q юки таъсиридан 7-8 стержени 2.2.5, в- расмида кўрсатилганидек эгилади, яъни 8- кесим яқинида юқориги толалар чўзилувчи бўлади. Шу расмнинг ўзида 7-8 стерженидаги M эпюраси ҳам келтирилган.

Нихоят, юксиз 9-10 стерженига тўғри чизикли M эпюрасини қуришни кўрамиз. Икки стерженли B тугунининг мувозанат шартидан $M_9=M_8=6 \text{ кН}\cdot\text{м}$ келиб чиқади ва ички толалар чўзилувчи бўлади.

2.2.5, г- расмни кўриб чиқишдан 10- нуқтадаги моментни топамиз. F кучи 10- нуқта орқали ўтади ва ундан момент нолга тенг бўлади. $M_{10}=q \cdot l \cdot 4,5 = 4 \cdot 3 \cdot 4,5 = 54 \text{ кН}\cdot\text{м}$. Тенг таъсир этувчи $q \cdot l = 12 \text{ кН}\cdot\text{м}$ кучи таъсиридан 9-10 стержени 2.2.5, г-расмда пунктир чизик билан кўрсатилганидек эгилади, яъни 10- кесим яқинида ўнг толалар чўзилувчи бўлади. M_9 ва M_{10} моментлари топилганидан сўнг 9-10 стерженининг чўзилган толалар томонига тўғри чизикли M эпюрасини қурамиз (2.2.5, г- расм).

Алоҳида стерженлар учун 2.2.5- расмда келтирилган барча M эпюраларини битта схемага кўчирамиз (2.2.7, а-расм).



2.2.7-расм

Кесувчи куч эпюраларини куриш

Кесувчи куч эпюрасини, $Q = dM/dx$ ифодасидан фойдаланиб, эгувчи момент M эпюраси бўйича курамиз.

M эпюрасининг тўғри чизикли бўлагида Q нинг сонли қийматини $Q = tg \alpha$ формуласи бўйича, ишорани эса стержен ўқини M эпюраси билан устма-уст келгунча буралиши бўйича аниқлаймиз.

3-4 стержени: $Q_{3-4} = -48/4 = -12$ кН.

Q_{3-4} кесувчи кучидаги «минус» ишораси, 3-4 стержен ўқини M эпюраси билан устма-уст тушиши учун бурилиш соат стрелкаси ҳаракатига тескари бўлганлигини кўрсатади.

5-6 стерженнинг Q эпюраси типавий ҳисобланади ва унинг шакли оддий балкалар жадвалидан кўчирилади (2.1-жадвал, 4-вазият). 7-8 стержени: $Q_{7-8} = (30+6)/3 = 12$ кН.

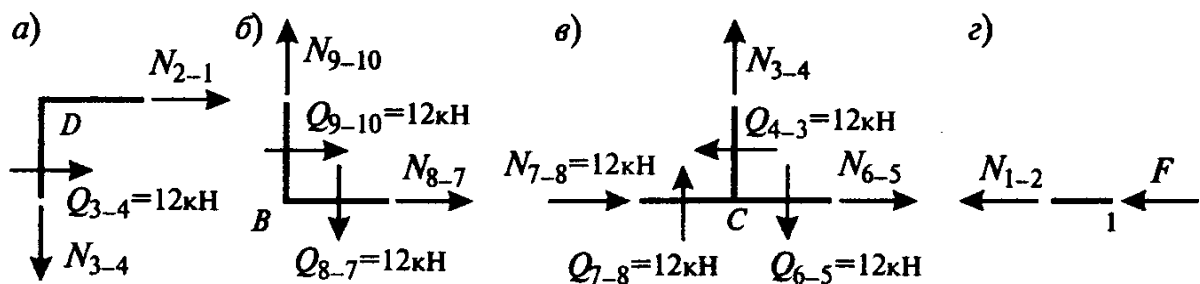
7-8 стержени ўқи M эпюраси билан устма-уст бўлиши учун соат стрелкаси ҳаракати бўйича айланганлиги сабабли кесувчи куч Q_{7-8} мусбат.

9-10 стержени: $Q_{9-10} = (54 - 6) / 4 = 12$ кН.

Стерженнинг қайси томонига Q эпюрасини куришнинг аҳамияти йўқ, асосийси-ишора қўйиш. Бироқ, балкага ўхшаш, горизонтал стержен учун мусбат ординаталарни юқорига, манфий ординаталарни пастга қўйишни тавсия этиш мумкин. Кесувчи куч Q эпюраси 2.2.7 б- расмда кўрсатилган.

Бўйлама куч эпюраларини куриш.

Бўйлама куч N эпюрасини кесувчи куч Q эпюраси бўйича, тугун кесиш усулида курамиз. Тугун кесишни икки стерженли тугундан бошлаймиз. Дастлаб D тугунини кесамиз. 1-2 стерженида кесувчи куч нолга тенг, 3-4 стерженида эса манфий ва 12 кН га тенг. Чизмада уни D тугунидаги 3-4 стерженига перпендикуляр (кўндаланг) ва тугунни тугунни соат стрелкаси



2.2.8- расм

ҳаракатига тескари йўналишда ($Q < 0$) буровчи кучлар кўринишида

кўрсатилади. Сўнгра стержен бўйлаб тугунда учрашувчи, ундан кетувчи йўналишда бўйлама кучлар қўйилади ва $\Sigma X=0$, $\Sigma Y=0$ (2.2.8, а- расм) кўринишидаги мувозанат тенгламалари тузилади, улардан изланувчи бўйлама кучлар N топилади.

Д тугуни: $\Sigma X = 0$; $12 + N_{2-1} = 0$, $N_{2-1} = -12$ кН; $\Sigma Y = 0$; $N_{3-4} = 0$.

В тугуни: $\Sigma X = 0$; $12 + N_{8-7} = 0$, $N_{8-7} = -12$ кН.

$\Sigma Y = 0$; $-12 + N_{9-10} = 0$; $N_{9-10} = 12$ кН.

С. тугуни: $\Sigma X = 0$; $12 - 12 + N_{6-5} = 0$, $N_{6-5} = 0$.

$\Sigma Y = 0$; $-12 + 12 + N_{3-4} = 0$, $N_{3-4} = 0$.

2.2.8, з- расмдан: $\Sigma X = 0$; $-N_{1-2} - F = 0$, $N_{1-2} = -12$ кН.

Навбатдаги икки стерженли В тугунни кесамиз (2.2.8, б-расм). Унга Q эпюрасидан мусбат қийматли, тугунни соат стрелкаси ҳаракати йўналиши бўйича буровчи $Q_{8-7}=12$ кН ва $Q_{9-10}=12$ кН кесувчи кучларни қўямиз. Мусбат йўналишли бўйлама кучлар қўйилгандан сўнг $\Sigma X=0$, $\Sigma Y=0$ мувозанат тенгламаларини ёзамиз ва уларнинг ечимидан изланувчи бўйлама кучлар N ни топамиз.

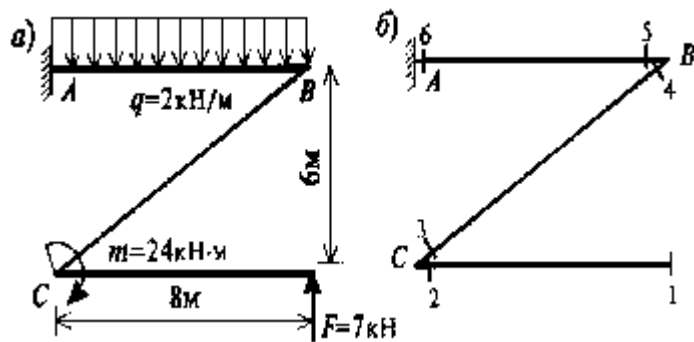
Берилган синиқ консол балка ҳисоб схемасидан бўйлама куч $N_{5-6}=0$ келиб чиқади.

Уч стерженли С тугунни (2.2.8, в-расм) ва чексиз кичик элементни 1-кесим (2.2.8, з- расм) яқинида кесиш ёрдамида бажарилган текширишлар, изланувчи бўйлама кучлар тўғри топилганини кўрсатди. Q эпюрадаги каби, стержен ўқидан қайси томонга N эпюраси қийматларини қўйишнинг аҳамияти йўқ, асосийси-ишорани қўйишдир. Бўйлама кучлар N эпюраси

2.2.7, в- расмда кўрсатилган.

Бундан кейин, тугунда учрашувчи ўзаро перпендикуляр стерженлар учун кесувчи ва бўйлама кучлар бўйича тугунлар мувозанатини онгимизда бажарамиз.

Кейинги мисоллар унчалик тўлиқ кўрсатилмайди, ўқувчи



2.2.9- расм

зарурат туғилганда юқорида ифода этилган мисолдаги мулоҳазаларга мурожат қилиш мумкин.

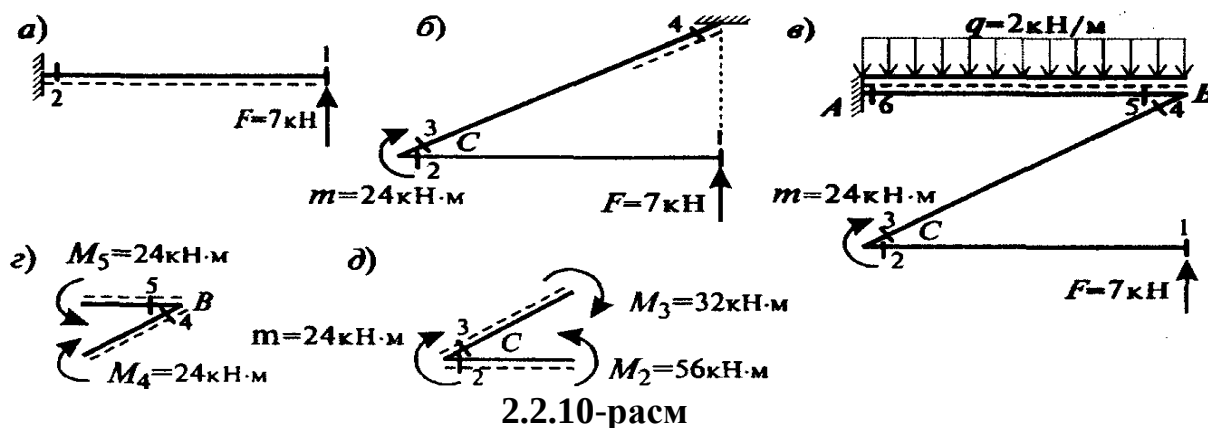
2.17- мисол. Синиқ ўқли балкада M , Q , N эпюралари қурилсин (2.2.9, а- расм).

Эгувчи момент эпюраларини қуриш

M эпюрасини қуриш учун, 2.2.9, б- расмда кўрсатилган характерли кесимлар учун моментнинг сон қийматларини топиш ва бу кесимларда қайси толалар чўзилувчи бўлишини аниқлаш зарур.

Бунинг учун олдинги мисоллардагидек, берилган синиқ ўқли консол балкани 2,4,6 нуқталар орқали кесим ўтказиб, бир неча оддий балкаларга ажратамиз. Навбати билан чап қисмини қистирилган таянчи

билан ташлаб юбориб ва ҳаёлда кесимларни маҳкамлаб қуйидаги оддийлашган ҳисоб схемаларини оламиз (2.2.10 - расм).

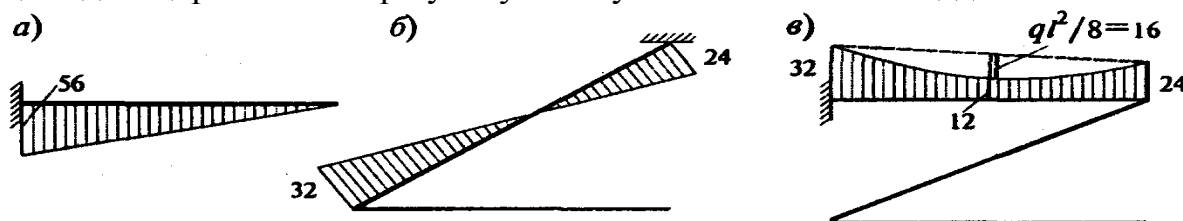


2.2.10-расм

1-2 стерженида (2.2.10, а- расм) M ва Q эпюралари жадвалга оид (2.1-жадв., 5-ваз. қар.) бўлади. $F=7$ кН кучи пастки толаларни чўзади (пунктир чизикда кўрсатилган) ва $M_2=7 \cdot 8=56$ кН·м моментни ҳосил қилади (2.2.11, а- расм). Агар 3-4 стерженининг 3-кесимига соат стрелкаси ҳаракати бўйича йўналган ва юқориги толаларни чўзувчи (чунки ёйсимон стрелка бошланиши тепада жойлашган) $M_3=32$ кН·м momenti қўйилса, C тугуни (2.2.10, б- расм) мувозанат ҳолатида бўлади. 4-кесимдаги моментни ҳисоблаймиз (2.2.10, б- расм): $M_4=24+7 \cdot 0=24$ кН·м. C тугунига қўйилган фақат йиғиқ момент $m=24$ кН·м таъсиридан 4-кесимда пастки толалар чўзилувчи (кесим яқинида пунктир билан кўрсатилган) бўлади.

2.2.11, б- расмда 3-4 стерженидаги момент эпюраси кўрсатилган.

B тугун (2.2.10, в- расм) мувозанатидан, $M_5=M_4=24$ кН·м ва 5-кесим яқинида юқориги толалар чўзилувчи бўлишлиги келиб чиқади.



2.2.11- расм

5-6 стерженида моментлар эпюраси квадрат парабола бўйича чизилади, 6-кесимида эса момент $M_6=7 \cdot 8-24-2 \cdot 8 \cdot 4=-32$ (кН·м) га тенг бўлади. Эгувчи моментлар учун ишоралар қоидаcига кўра балкалардаги (горизонтал стерженлардаги) «манфий» ишораси 6-кесимда юқориги толалар чўзилишини (пунктир чизик билан кўрсатилган) билдиради. Чўзилган толаларни бошқача ҳам аниқлаш мумкин. $M_6=-32$ кН·м моментига энг кўп ясси ёйилган q юки ва кесилган қисмини бир йўналишда (соат стрелкаси ҳаракати бўйича) бурувчи йиғиқ момент m ҳисса қўшдилар. Шу сабабли, ҳаёлан $F=7$ кН кучини олиб танлаш мумкин (енгилгандай), q юки таъсиридан (фикрлашни соддалаштириш учун m моментини ҳам олиб ташлаш мумкин), эса 6-кесим бўлагида юқориги толалар чўзилган бўлади.

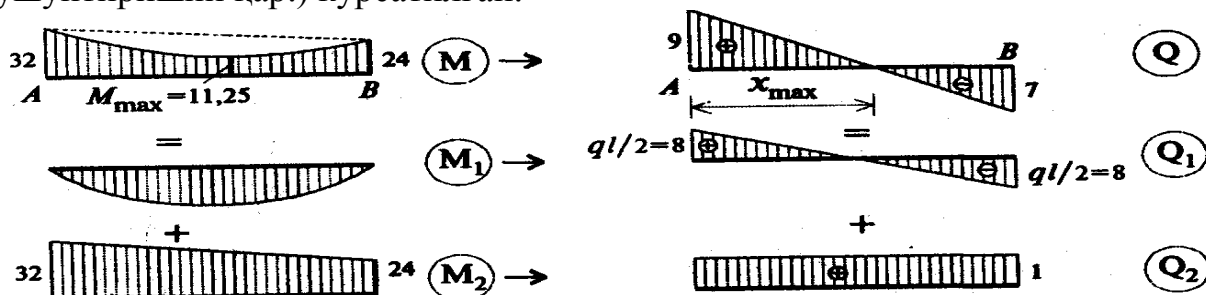
5-6 стерженидаги моментлар эпюраси 2.2.11, в- расмда кўрсатилган.

Алоҳида стерженлар учун 2.2.11- расмда кўрсатилган момент эпюраларини битта схемага (2.2.13, а- расм) кўчирамиз.

Кесувчи куч эпюраларини куриш.

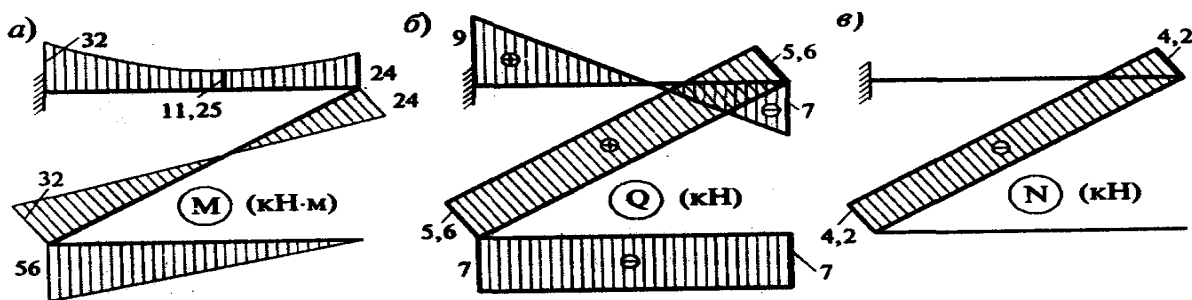
Кесувчи куч Q эпюраларини куриш учун моментлар ва унга мос кесувчи куч Q ларнинг типавий эпюраларидан фойдаланамиз (2.2.1- расмга қар.) $Q_{2-1} = -56/8 = -7$ кН; $Q_{3-4} = (32+24)/10 = 5.6$ кН.

5-6 бўлакдаги Q эпюраларини куриш 2.2.12- расмда (2.2.2-расмга тушунтиришни қар.) кўрсатилган.



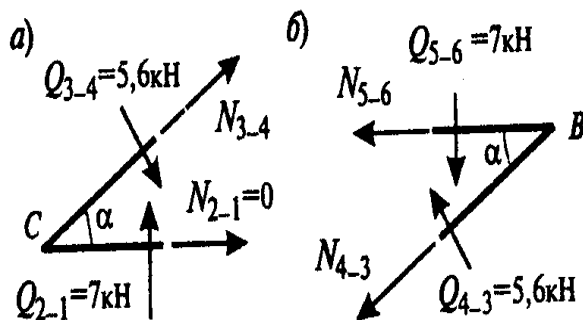
2.2.12- расм

$x_{max} = Q_A/q = 9/2 = 4.5$ (м); $M_{max} = M_A + \Omega_Q = -32 + Q_A \cdot x_{max}/2 = -32 + 9 \cdot 4.5/2 = -11.25$ кН·м. Q эпюраси тўлиқ 2.2.13, б-расмда кўрсатилган.



2.2.13- расм

Бўйлама куч эпюраларини куриш.



2.2.14- расм

Берилган ҳисоб схемасидан (2.2.9, а, б- расмга қар.) кўриниб турибдики 1-2 бўлагида бўйлама куч N_{1-2} нолга тенг. Икки стерженли C тугунининг (2.2.14, а- расм) мувозанатидан бўйлама куч N_{3-4} ни топамиз, кейин N_{5-6} зўриқишини аниқлаш учун B тугунининг (2.2.14, б- расм) мувозанатини қараймиз.

C тугуни: $\Sigma Y = 0$;

$$7 - 5.6 \cos \alpha + N_{3-4} \sin \alpha = 0; \quad 7 - 5.6 \cdot 0.8 + N_{3-4} \cdot 0.6 = 0, \quad N_{3-4} = -4.2 \text{ кН.}$$

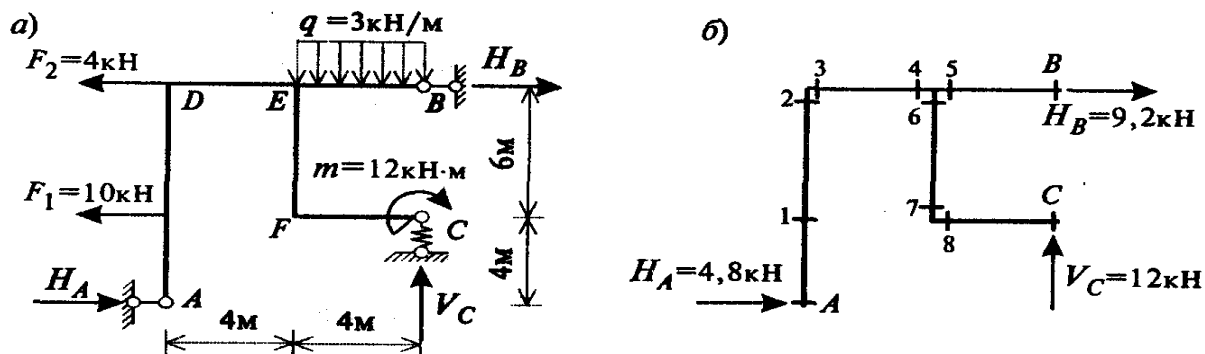
$$B \text{ тугуни: } \Sigma X = 0; \quad -N_{5-6} - 5.6 \sin \alpha - N_{4-3} \cos \alpha = 0,$$

$$N_{4-3} = N_{3-4} = -4.2 \text{ кН бўлганлиги сабабли,}$$

$$N_{5-6} = -5,6 \cdot 0,6 + 4,2 \cdot 0,8 = 0 \text{ бўлади.}$$

N эпюраси 2.2.13, в- расмда кўрсатилган.

2.18- мисол. Оддий рама учун M, Q, N эпюралари қурилсин (2.2.15, а- расм).



2.2.15- расм

Юқорида айтилганидек (2.1-§), статик аниқ системаларнинг таянч реакцияларини аниқлаш ва M, Q, N эпюраларини қуриш таянчларнинг эластик чўкишига боғлиқ бўлмайди. Шунинг учун C нуқтасидаги таянчни оддий шарнирли-қўзғалувчи таянч сифатида қараш керак.

Таянч реакцияларини қуйидаги мувозанат тенгламаларидан аниқлаймиз:

1. $\sum Y = 0; \quad -3 \cdot 4 + V_C = 0 \quad V_C = 12 \text{ кН};$
2. $\sum M_B = 0; \quad -H_A \cdot 10 + 10 \cdot 6 + 12 - 3 \cdot 4 \cdot 2 = 0, \quad H_A = 4,8 \text{ кН};$
3. $\sum X = 0; \quad 4,8 - 10 - 4 + H_B = 0, \quad H_B = 9,2 \text{ кН}.$

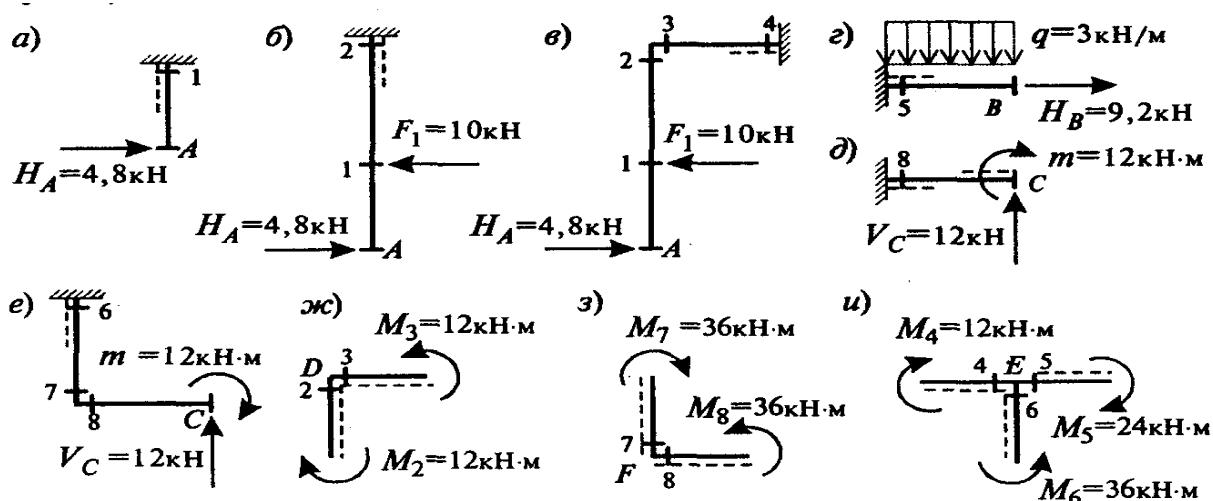
2.2.15, б- расмда таянч реакцияларининг ҳақиқий қийматлари ва йўналишлари, шунингдек эгувчи моментларини топиш зарур бўлган характерли кесимлари кўрсатилган.

Юқорида кўрсатилгандек берилган рамани бир қатор консол балкаларга ажратамиз. Бунинг учун 1,2,4,5,8,6 нуқталар орқали навбати билан олти та кесим ўтказамиз, ҳар сафар раманинг кўп юк миқдорда таъсир қилган қисмини ташлаб юборамиз. Натижада қуйидаги соддалашган ҳисоб схемаларини оламиз, улардан эгувчи моментнинг сон қийматларини жуда осон топиш, қайси толалари чўзилганлигини белгилаш мумкин (2.2.16-расм). 2.2.16-расмда характерли кесимлардаги чўзилган толалар пунктир чизиқлар билан кўрсатилган.

Бу ерда ва бундан кейин алоҳида стерженларга M эпюраларини бошқа қурмаймиз, эгувчи моментнинг топилган қийматларини эса дарҳол берилган ҳисоб схемасининг чўзилган толалари томонига қўямиз.

$A-1$ бўлакда M эпюраси чап томонидан чўзилган толали жадвалга оид бўлади, 2.2.16, а- расмдан $M_1 = -H_A \cdot 4 = -4,8 \cdot 4 = -19,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$. 2.2.16, б- расмни қарашдан, $M_2 = -H_A \cdot 4 + F_1 \cdot 6 = -4,8 \cdot 10 + 6 \cdot 10 = 12 \text{ кН} \cdot \text{м}$ келиб чиқади. $F_1 = 10 \text{ кН}$ кучидан ҳосил бўлган момент $H_A = 4,8 \text{ кН}$ кучидан моментга қараганда катта бўлди. Шу сабабли, ҳаёлан H_A кучини олиб ташлаб, фақатгина $F_1 = 10 \text{ кН}$ кучи таъсиридан 2-кесим доирасида ўнг толалар чўзилувчи бўлишини аниқлаймиз. D тугунининг (2.2.16, ж- расм)

мувозанатидан $M_3 = M_2 = 12 \text{ кН}\cdot\text{м}$ келиб чиқади, пастки толалар чўзилувчи бўлади. 4-кесимдаги эгувчи моментни 2.2.16, в-рasm бўйича топамиз:



2.1.16-рasm.

$M_4 = -H_A \cdot 10 + F_1 \cdot 6 = -4.8 \cdot 10 + 10 \cdot 6 = 12 \text{ кН}\cdot\text{м}$. Шу рasmнинг ўзида эса 4 - кесим яқинидаги чўзилувчи толалар кўрсатилган. 5-В бўлагиди (2.2.16, з-рasm) M эпюраси, юқориги чўзилувчи толалари ва $M_5 = (-ql^2)/2 = -3 \cdot 16/2 = -24 \text{ (кН}\cdot\text{м)}$ моменти билан жадвалга оид бўлади. С кесимидаги (2.2.16, д-рasm) момент ташқи йиғиқ момент $m = 12 \text{ кН}$ ($M_C = m = 12 \text{ кН}\cdot\text{м}$) га тенг. Ташқи моментни тасвирловчи ёйсимон стрелка бошланиши юқорида жойлашганлиги сабабли, С кесимида юқориги толалар чўзилувчи бўлади. 8-кесимидаги эгувчи моментни 2.2.16, д-рasmдан топамиз: $M_8 = V \cdot 4 - m = 12 \cdot 4 - 12 = 36 \text{ (кН}\cdot\text{м)}$. $M_8 = 36 \text{ кН}\cdot\text{м}$ моментига $V_C = 12 \text{ кН}$ кучи катта ҳисса қўшди, унинг таъсиридан 8 -кесимда пастки толалар чўзилади. F тугунининг мувозанатидан $M_7 = M_8 = 36 \text{ кН}\cdot\text{м}$ келиб чиқади. Чўзилган толалар пуктир билан кўсатилган. Ниҳоят, 2.2.16, е- рasmни қарашдан $V_C = 12 \text{ кН}$ кучининг елкаси 6-7 бўлак узунлигида доимий бўлади, у ҳолда шу бўлакда эгувчи момент ҳам доимий яъни $M_6 = M_7 = 36 \text{ кН}\cdot\text{м}$ бўлади.

4.5.6-кесимларда топилган эгувчи моментларнинг қийматлари уч стерженли E тугунининг (2.2.16, и -рasm) мувозанат шартларини қаноатлантиради.

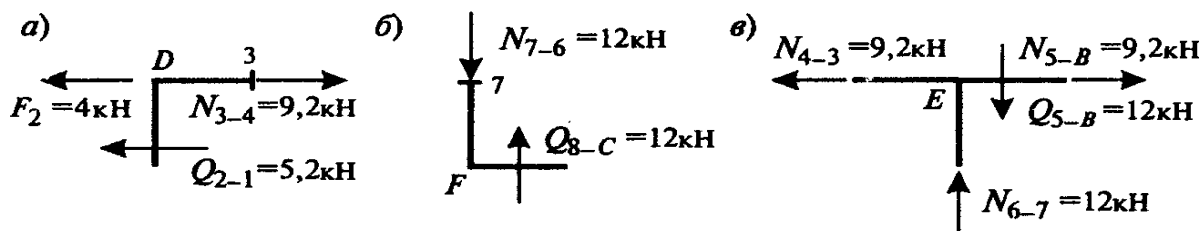
Эгувчи моментлар эпюраси 2.2.18, а- рasmда келтирилган.

M эпюраси бўйича Q эпюрасини маълум қоида бўйича қурамиз. $Q_{A-1} = -19.2/4 = -4.8 \text{ кН}$; $Q_{2-1} = (19.2 + 12)/6 = 5.2 \text{ кН}$; $Q_{3-4} = 0$; $Q_{6-7} = 0$; $Q_{8-C} = -(36 + 12)/4 = -12 \text{ кН}$. 5-В бўлакнинг 5-кесимида ординатаси $Q_{5B} = ql = 3 \cdot 4 = 12 \text{ кН}$ га тенг бўлган Q эпюраси жадвалга оид бўлади.

Бутун рама учун кесувчи кучлар эпюраси Q 2.2.18, б-рasmда кўрсатилган. N эпюрасини қуриш учун D, F, E тугунларини (2.2.17-рasm) навбати билан кесиб, қуйидаги мулоҳазаларни қўллаб онгимизда (дилда) уларнинг мувозанатини бажарамиз.

D тугуни (2.2.17, а- рasm) у ўқи бўйича мувозанатлашиб бўлган x ўқи бўйича чапга йўналган йиғинди горизонтал кучи $F_2 + Q_{2-1} = 4 + 5.2 = 9.2 \text{ кН}$ таъсир қилади. Тугун x ўқи бўйича мувозанатда бўлиши учун қиймати 9.2 кН га тенг

ва ўннга йўналган горизонтал кучини қўйиши керак. Агар 3-4 стерженининг 3-кесимига тугундан кетувчи йўналишда (стержен чўзилади) $N_{3-4} = 9,2 \text{ кН}$ бўйлама кучи қўйилса, бу шартни бажариш мумкин.

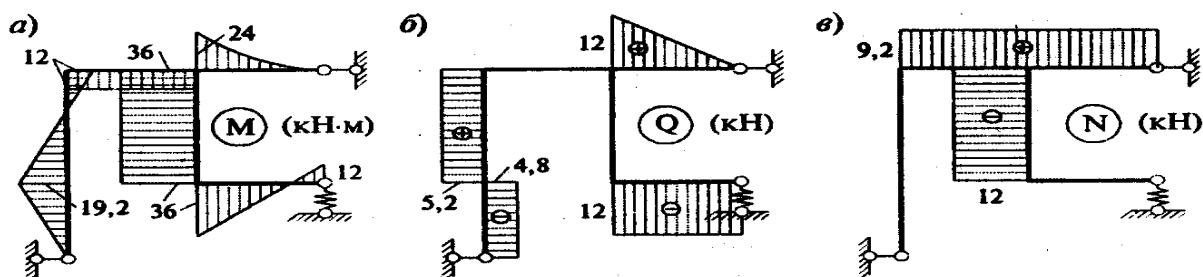


2.2.17- расм

F тугуни (2.2.17, б- расм) x ўқи бўйича мувозанатлашган. y ўқи бўйича, юқорига йўналган фақат битта кесувчи куч $Q_{8-C} = 12 \text{ кН}$ таъсир қилади. Бу ўқ бўйича тугун мувозанатлашган бўлиши учун пастга йўналган вертикал куч 12 кН ни қўйиш керак. Буни 7-6 стерженининг 7-кесимига тугунга йўналган (стержен сиқилади) вертикал бўйлама куч $N_{7-6} = 12 \text{ кН}$ ни қўйиш йўли билан қилиш мумкин.

E тугуни (2.2.17, в- расм) Q эпюрасидан олинган мусбат қийматли $Q_{5-8} = 12 \text{ кН}$ дан ташқари, D тугунини текширишдан юқорида топилган, мусбат бўйлама куч $N_{4-3} = 9,2 \text{ кН}$ ни қўйиш керак. Юқорида келтирилган мулоҳазаларни қўллаб, $N_{5-B} = 9,2 \text{ кН}$ ва $N_{6-7} = -12 \text{ кН}$ ларни оламиз.

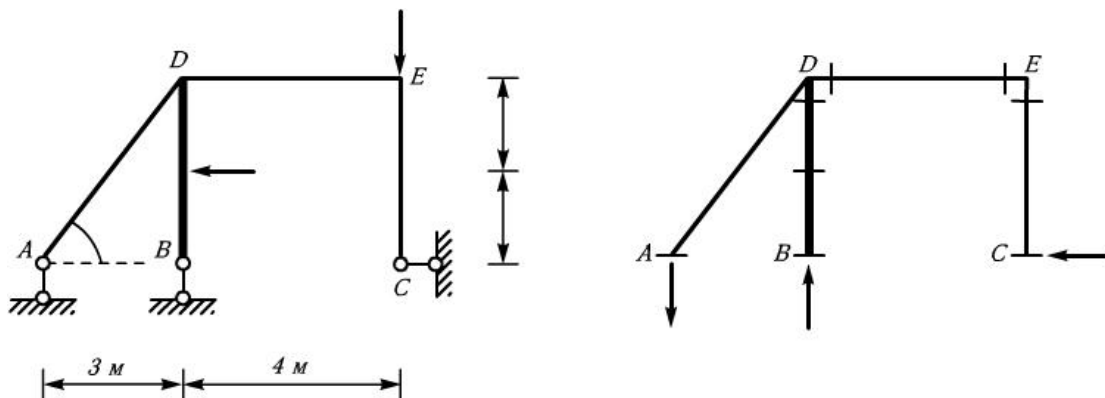
Бутун рама учун бўйлама кучлар N эпюраси 2.2.18, в- расмда кўрсатилган.



2.2.18- расм

2.19- мисол. Оддий рама учун M, Q, N эпюралари курилсин (2.2.19, а- расм). Маълумки, мутлақ қаттиқ жисмлар ($EJ = \infty$) учун ички зўриқишлар M, Q, N деган тушунча (аниқланиш) йўқ. Бундай жисмлар деформацияланмайди, буларда M, Q, N эпюралари кўрсатилмайди ва улар табиатда бўлмайди.

Шундай бўлсада, айрим иншоотлар конструктив элементлар бикирлиги бўйича бир даража ёки бир неча даража фарқ қилади ва ҳисобларни соддалаштириш учун, айниқса статик ноаниқ системаларда, шундай элементларнинг бикирлиги тақрибан $EJ = \infty$ ёки $EJ \rightarrow \infty$ қилиб олинади.



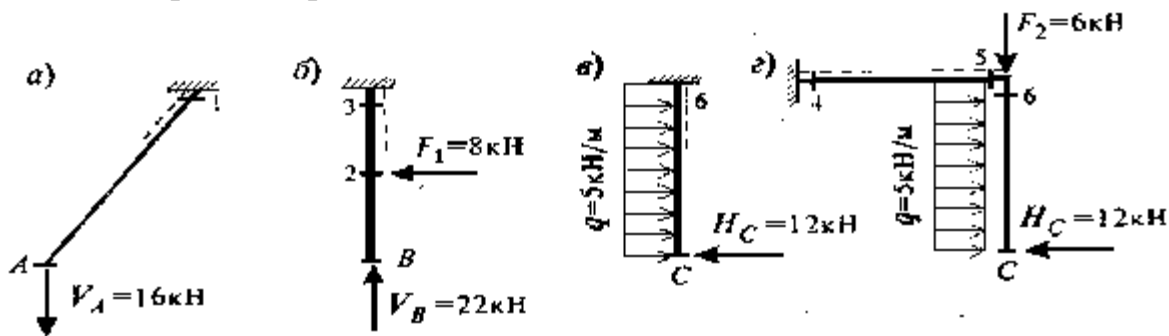
2.2.19-расм

2.2.19, а- расмда тасвирланган раманинг фарқ қиладиган хусусияти шундан иборатки, BD стержени чекли, лекин жуда катта бикирликка ($EJ \rightarrow \infty$) эга.

Бу унинг бикирлиги жуда кўп марта, бошқа элементлар бикирлигидан катталигини билдиради. Шундай статик аниқ системаларнинг ички зўриқишларини аниқлашда унинг бу хусусиятига эътибор берилмайди ва M, Q, N эпюралари оддий системалардагидек қурилади, лекин уларни шундай стерженларда шартли пунктлар чизиклар билан тасвирлаймиз.

2.2.19, б- расмда таянч реакцияларининг ҳақиқий қийматлари ва йўналишлари, шунингдек эгувчи моментларнинг сонли қийматларини топиш керак бўлган ва қайси толалар чўзилганлигини кўрсатувчи характерли кесимлар кўрсатилган.

2.2.20-расмда, 1,3,4,6 нукталар орқали кесим ўтказилганидан кейин олинган, кесимлар яқинида чўзилувчи толалар кўрсатилган соддалашган ҳисоб схемалари келтирилган.



2.2.20- расм

1-кесим (2.2.20, а- расм): $M_1 = -16 \cdot 3 = -48$ (кН·м), ($M_A = 0$).

3-кесим (2.2.20, б- расм): $M_3 = 8 \cdot 2 = -16$ (кН·м), ($M_B = M_2 = 0$).

6-кесим (2.2.20, в- расм): $M_6 = 12 \cdot 4 - 5 \cdot 4 \cdot 2 = 8$ (кН·м), ($M_C = 0$).

4-кесим (2.2.20, г- расм): $M_4 = -M_6 - F \cdot 4 = -8 - 6 \cdot 4 = -32$ кН·м.

6-С бўлакда, бўлакнинг учларидаги моментларни туташтирувчи тўғри чизикли эпюрага ясси ёйиқ юкдан, ўртасида $ql^2/8$ ординатаси билан балканинг моментлар эпюрасини «осиш» (қўшиш) керак. 4-кесимдаги эгувчи моментни аниқлашда, кесимнинг ўнг томонга қўйилган ташқи кучлар моментларининг йиғиндисини тескари ишора билан олинганлиги ҳисобга олинди. 2.2.23, а- расмда M эпюраси келтирилган.

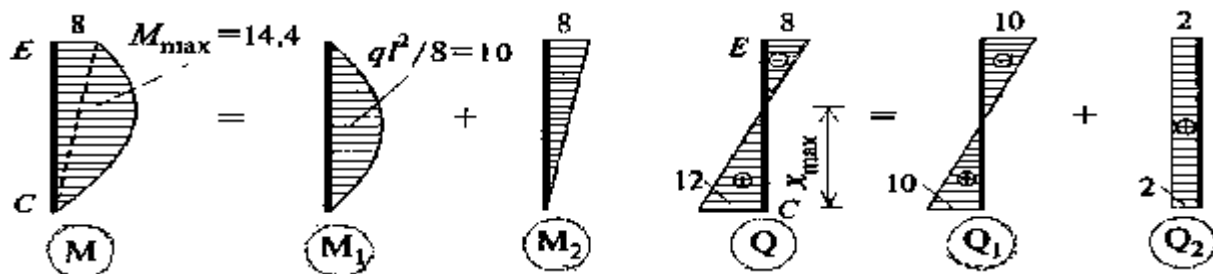
Эгувчи момент эпюраларини куриш коидаларини эгаллаш мобайнида, 2.2.5- расм, 2.2.10- расм, 2.2.11- расм, 2.2.16- расм ва 2.2.20-расмлар типигаги ёрдамчи расмларни энди келтирилмаса ҳам бўлади, уларга боғлиқ ишларни онгимизда бажариб натижаларни ҳисоб схемасига кўчирамиз.

Q эпюраларини куриш.

$$Q_{1-A} = -48/5 = -9,6 \text{ кН}; \quad Q_{3-2} = 16/2 = 8 \text{ кН}; \quad Q_{4-5} = (32-8)/4 = 6 \text{ кН}.$$

C-E бўлакда Q эпюраларини куриш 2.2.21- расмда кўрсатилган.

$$x_{\max} = Q_C/q = 12/5 = 2,4 \text{ м}; \quad M_{\max} = M_C + \Omega_Q = 0 + Q_C \cdot x_{\max}/2 = 12 \cdot 2,4/2 = 14,4 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

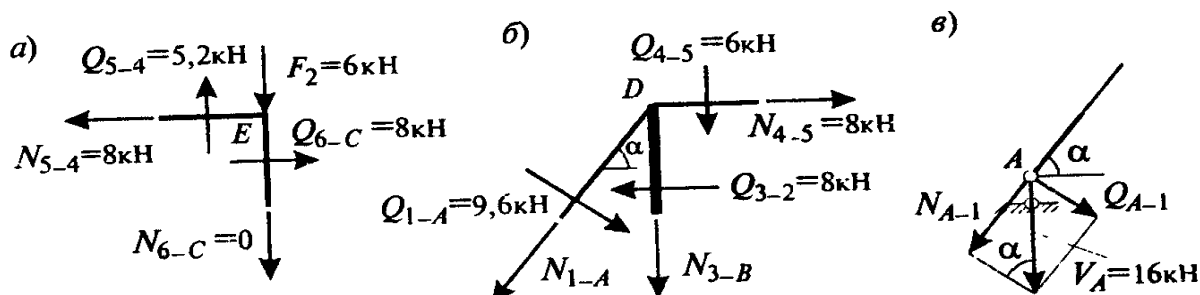


2.2.21- расм

Навбатдаги мисолларда, бизни M эпюраларини куришни соддалаштириш учун $M_{\max}$ ўрнига ясси ёйиқ юкдан балка момент эпюрасини «осишдан» (кўшишдан) кейинги фақат ўртача ординаталари қизиқтиради.

N эпюраларини куриш.

Дастлаб икки стерженли E тугунчанинг (2.2.22, а- расм) кейин уч стерженли D тугуни (2.2.22, б- расм) мувозанатларидан бўйлама кучларни топамиз, N ва Q зўриқишларини текшириш учун эса A тугунини қирқамиз. V_A таянч реакциясини AD стерженларга параллел ва перпендикуляр икки ташкил этувчиларга ажратамиз (2.2.22, в-расм).



2.2.22- расм

D тугуни (2.2.22, б- расм): $\sin \alpha = 0,8$; $\cos \alpha = 0,6$;

$$\Sigma X = 0; \quad 9,6 \cdot \sin \alpha + 8 - 8 - N_{1-A} \cos \alpha = 0; \quad 9,6 \cdot 0,8 = N_{1-A} \cdot 0,6;$$

$$N_{1-A} = 12,8 \text{ кН}. \quad \Sigma Y = 0; \quad -6 - 9,6 \cos \alpha - N_{1-A} \cdot \sin \alpha - N_{3-B} = 0;$$

$$N_{3-B} = -6 - 9,6 \cdot 0,6 - 12,8 = -22 \text{ кН}.$$

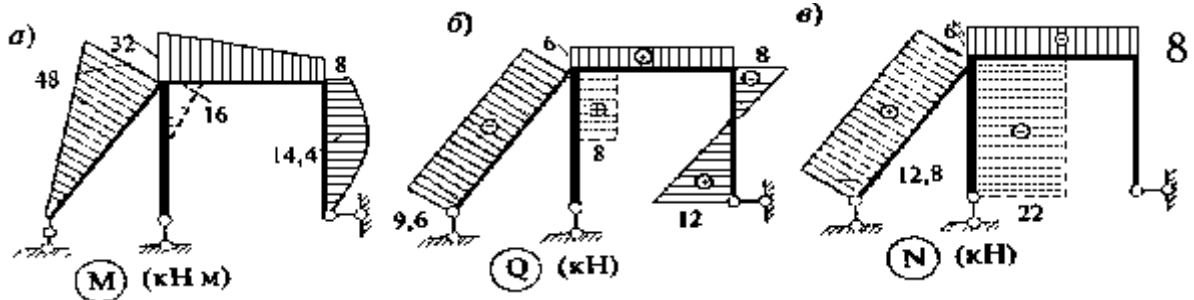
A тугуни (2.2.22, в- расм): $\sin \alpha = 0,8$; $\cos \alpha = 0,6$;

$$\Sigma X = 0; \quad 9,6 \cdot \sin \alpha + 8 - 8 - N_{1-A} \cos \alpha = 0; \quad 9,6 \cdot 0,8 = N_{1-A} \cdot 0,6;$$

$$N_{1-A} = 12,8 \text{ кН}; \quad \Sigma Y = 0; \quad -6 - 9,6 \cos \alpha - N_{1-A} \cdot \sin \alpha - N_{3-B} = 0;$$

$$N_{3-B} = -6 - 9,6 \cdot 0,6 - 12,8 \cdot 0,8 = -22 \text{ кН}.$$

Кўпинча, мулоҳазаларда куйидаги ҳатоликка йўл қўйилади. Ҳамон $F_2=6$ кН кучи E тугунга қўйилган ва EC стержени бўйлаб йўналган экан, демак шу стержен зўриқиши унга тенг. 2.2.22, a - расмдан, ундай эмаслиги келиб чиқади. Бундан ташқари, раманинг берилган схемасидан ҳеч қандай ҳисобсиз ҳам, CE стерженида, агар C дан E нуқтасига (2.2.19, a -расм) юрилса, бўйлама куч нолга тенглиги кўриниб турибди.



2.2.23- расм

2.20- мисол. 2.2.24, a - расмда тасвирланган кўп ораликли шарнир-консолли балка учун M ва Q эпюралари қурилсин.

2.2.24, b - расмда ҳисобларни соддалаштириш ва қулай бўлиши учун унинг қаватлар схемаси келтирилган, уларни ҳисоб тартиби 2.7- мисолда ёзилган.

FK иккинчи даражали балкасидаги (2.2.24, $b, в$ - расм) M ва Q эпюралари жадвалга оиддир (2.1-жадв, 3-ваз. қар.)

Сўнгра AF асосий балка (2.2.24, $г$ - расм) $F_1=6$ кН, $F_2=3$ кН йиғиқ кучлар ва юқорида ётган FK балкасининг тескари йўналган реакцияси $R_F=3$ кН дан, қўшимча юкка ҳисобланади.

E кесим: $M_E = R_F \cdot 4 = 3 \cdot 4 = 12$ кН.

D кесим: $M_D = R_F \cdot 7 - F_2 \cdot 3 = 3 \cdot 7 - 3 \cdot 3 = 12$ кН.

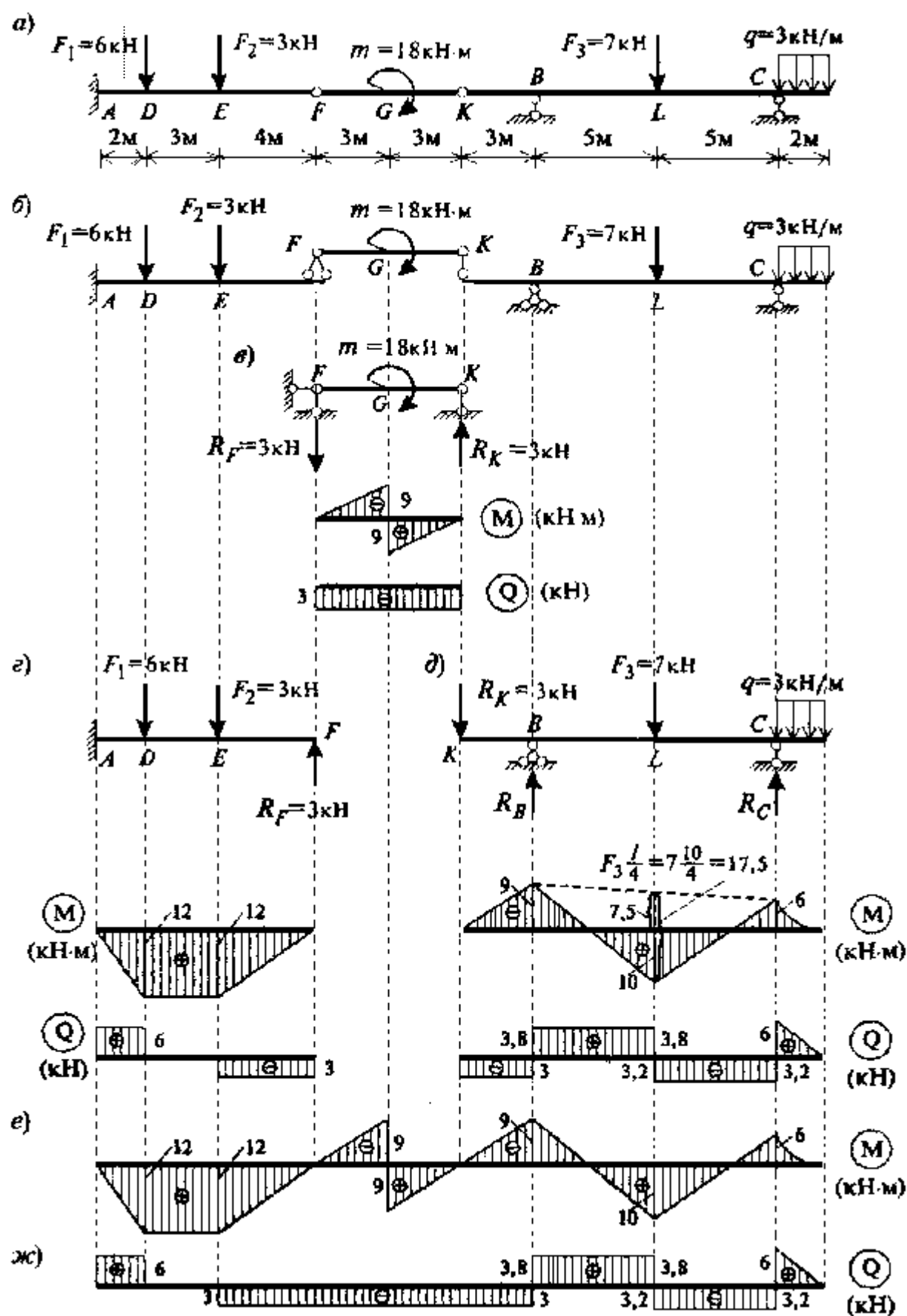
A кесим: $M_A = R_F \cdot 9 - F_2 \cdot 5 - F_1 \cdot 2 = 3 \cdot 9 - 3 \cdot 5 - 6 \cdot 2 = 0$.

Нихоят, яна асосий икки консолли BC балкаси, унга қўйилган юклар ва юқорида жойлашган FK балкасининг тескари йўналган $R_K=3$ кН таянч реакциясидан қўшимча юкка ҳисобланади (2.2.24, $д$ - расм). Консоллардаги M ва Q эпюралари жадвалга оид бўлади (2.1-жадв, 4-5 ваз. қар). Ораликдаги моментлар эпюрасини таянч реакцияларини аниқламасдан қуриш мумкин. Бунинг учун таянч моментлари

$M_B = -R_K \cdot 3 = -3 \cdot 3 = -9$ (кН·м) ва $M_C = -q \cdot 2 \cdot 1 = -3 \cdot 2 \cdot 1 = -6$ (кН·м) га йиғиқ кучдан балка M эпюрасини (2.1-жадв, 2-ваз. қар.) «осамиз». 2.2.24, $д$ - расмдан, L кесимидаги аниқланадиган моментни оддий балка M эпюраси ординатасидан, таянч моментлардан ҳосил бўлган трапеция ўрта кесими ординатасини айириб топамиз, яъни

$$M_L = F_3 l / 4 - (M_B + M_C) / 2 = 7 \cdot 10 / 4 - (9 + 6) / 2 = 10 \text{ кН·м}.$$

Бутун балка учун охирги M ва Q эпюралари 2.2.24, $е, ж$ - расмларда кўрсатилган.



2.2.24- расм

2.21- мисол. Балка учун M ва Q эпюралари курилсин. (2.2.25, а-расм).

Балкаларнинг қаватлар схемаси 2.2.25, б-расмда тасвирланган. Ҳар бир қават учун ҳисоблаш кетма-кетлиги 2.2.25, в...е- расмларда келтирилган.

Ҳисоблаш юқоридаги иккинчи даражали GK балкаси (2.2.25, в-расм) бошланади. $R_G=10\text{кН}$ ва $R_K=5\text{кН}$ таянч реакциялари аниқлангандан сўнг моментлар эпюраси оддийгина курилади. У, $F=15\text{кН}$ кучи остида ординатаси $M = R_G \cdot 2 = 10 \cdot 2 = 20\text{ (кН}\cdot\text{м)}$ га тенг бўлган учбурчак шаклида бўлади.

Кейин FCG иккинчи даражали балка ёки KDE асосий балкаси ҳисобланади. FCG балкасига интенсивлиги $q=3\text{кН/м}$ бўлган ясси ёйилган юк ва юқорида жойлашган GK балкадан тескари йўналишда олинган $R_G=10\text{кН}$ таянч реакцияси таъсир қилади (2.2.25, з- расм). Шундай юкланишдан F ва C таянчларида $R_F = 3,5\text{кН}$ ва $R_C = 21,5\text{кН}$ реакциялари пайдо бўлади. Улар топилгандан кейин моментлар эпюрасини куриш қийинчилик туғдирмайди. Эластик мойил таянч устидаги C кесими моменти $M_C = -R_G \cdot 2 = -10 \cdot 2 = -20\text{ (кН}\cdot\text{м)}$ га тенг бўлади. M_C моментини ҳисоблаш ўнгдан чапга бажарилди, шунинг учун «манфий» ишорали бўлди (2.2.25, з-расмга қаранг).

KDE балкаси йиғиқ момент $m_3=10\text{кН}$ ва юқорида қўйилган GK балкасининг тескари йўналган реакцияси $R_K=5\text{кН}$ таъсиридан ҳисобланади (2.2.25, d- расм).

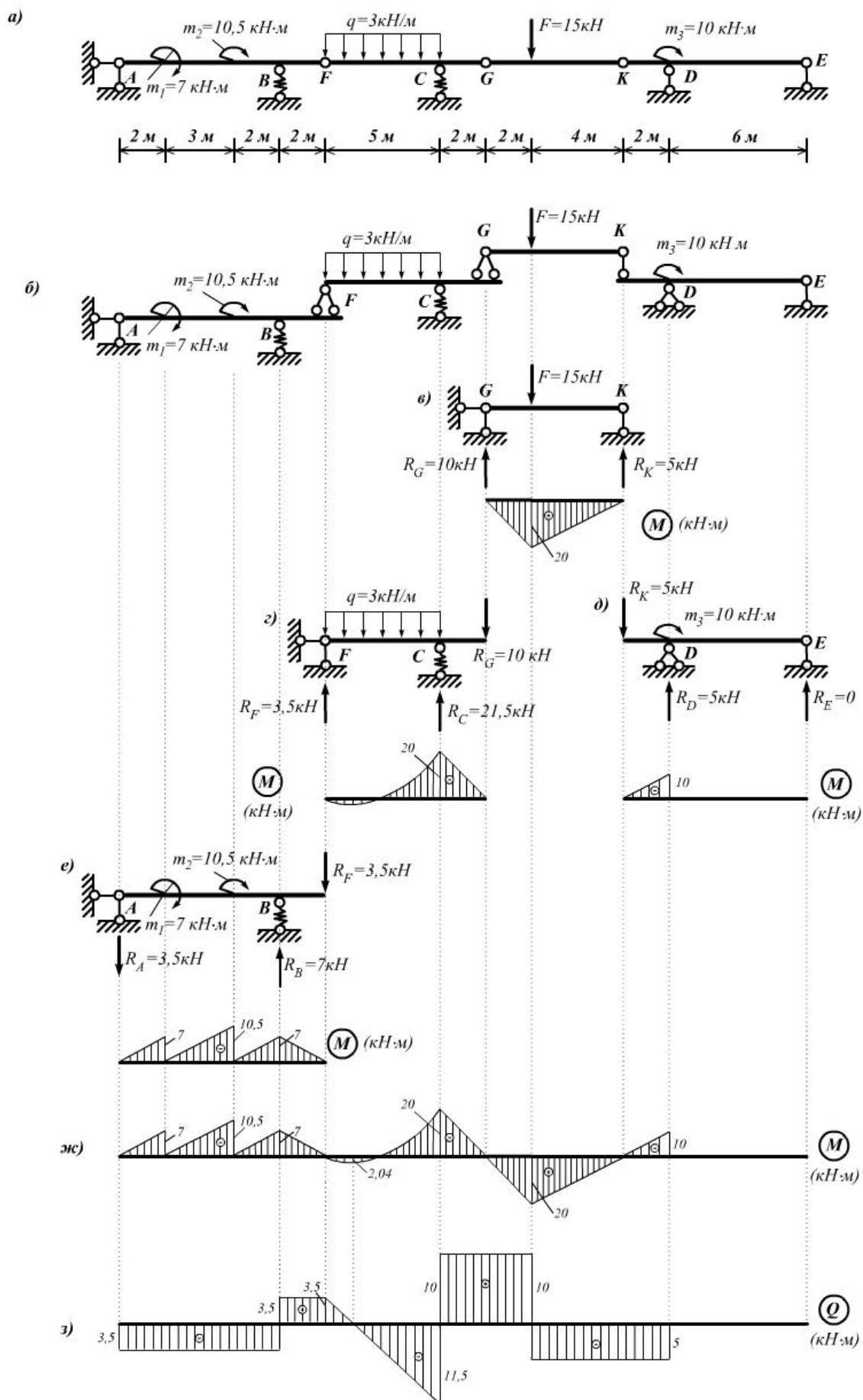
$\Sigma M_D = 0$ мувозанат шартидан $R_E = 0$ келиб чиқади. Шунинг учун моментлар эпюраси фақат консолда бўлади, D таянчдан чапдаги кесимда $M_D = -R_K \cdot 2 = -5 \cdot 2 = -10\text{кН}$ га тенг ордината бўлади.

Охирида, энг пастдаги асосий ABF балка икки йиғиқ момент $m_1 = 7\text{кН}\cdot\text{м}$, $m_2 = 10,5\text{кН}\cdot\text{м}$ лар таъсиридан ва юқорида ётган FCG балканинг тескари йўналишида олинган реакцияси $R_F = 3,5\text{кН}$ дан қўшимча юкка ҳисобланади (2.2.25, е-расм). Шундай кўринишда юкланган балка учун моментлар эпюраси 2.2.25, е- расмда кўрсатилган.

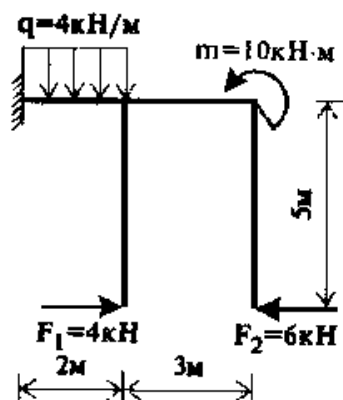
Бутун балка учун охириги моментлар эпюраси M 2.2.25, ж-расмда келтирилган.

M эпюраси (2.2.25, ж- расмга қаранг) бўйича маълум қоида бўйича курилган охириги кесувчи кучлар эпюраси Q 2.2.25, з - расмда тасвирланган.

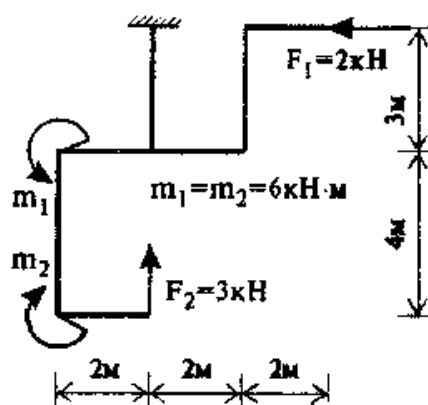
2.2.01...2.2.59- мисоллар. M , Q , N эпюралари қурилсин.



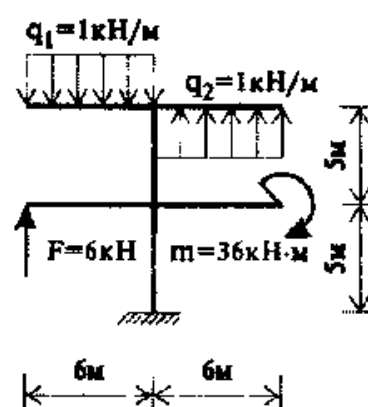
2.2.13



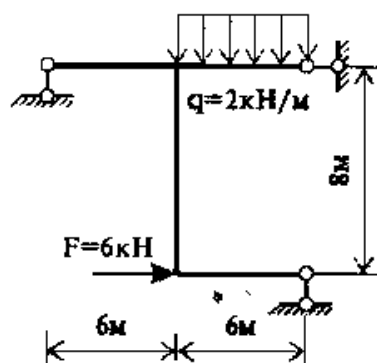
2.2.14



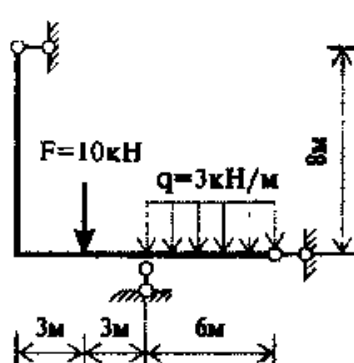
2.2.15



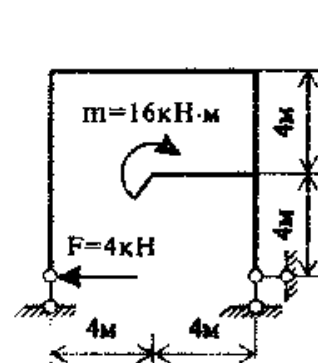
2.2.16



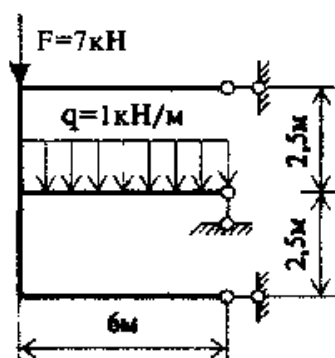
2.2.17



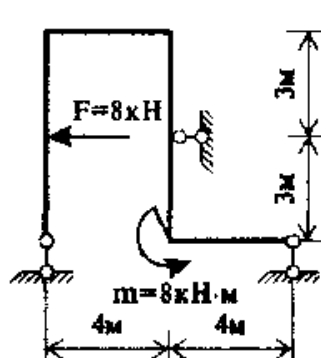
2.2.18



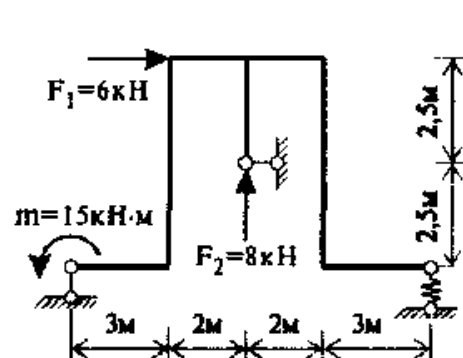
2.2.19



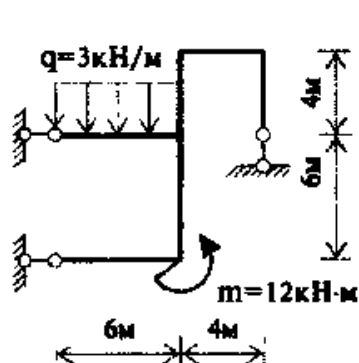
2.2.20



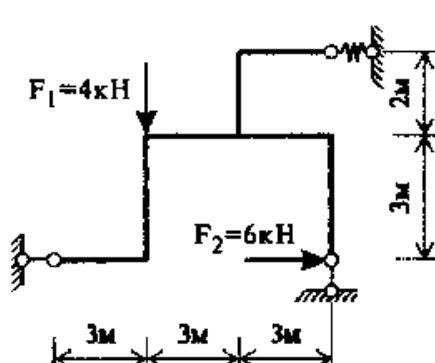
2.2.21



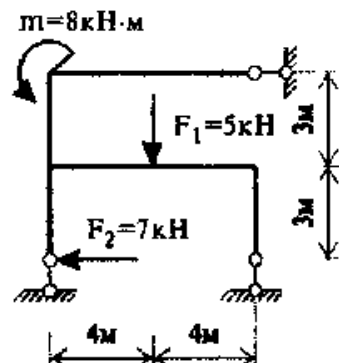
2.2.22



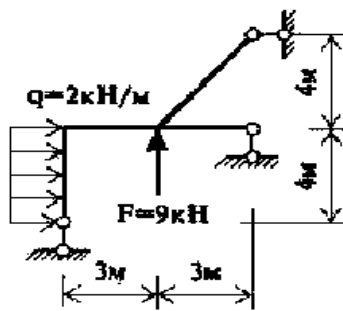
2.2.23



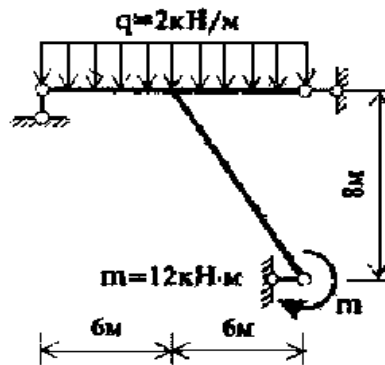
2.2.24



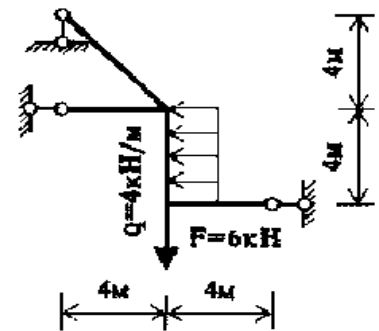
2.2.37



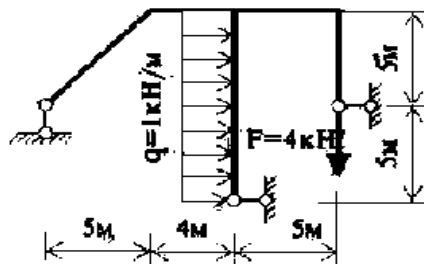
2.2.38



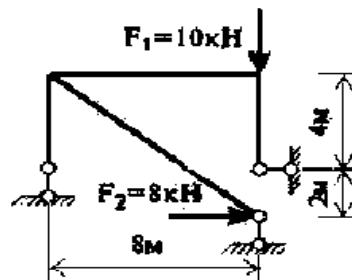
2.2.39



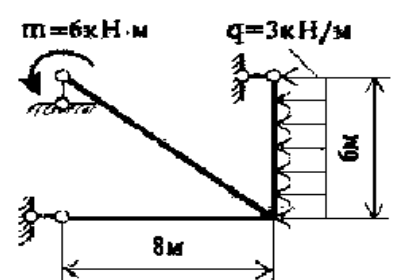
2.2.40



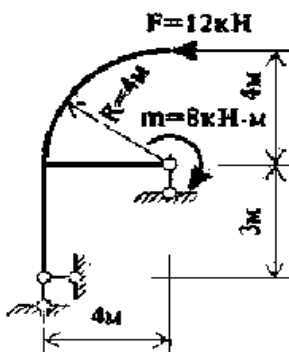
2.2.41



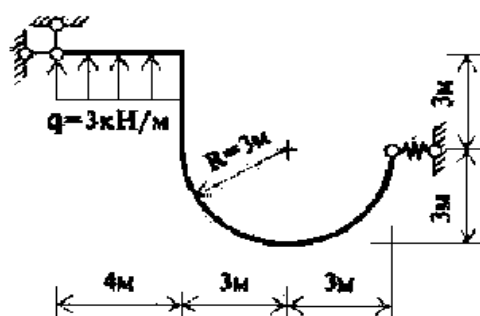
2.2.42



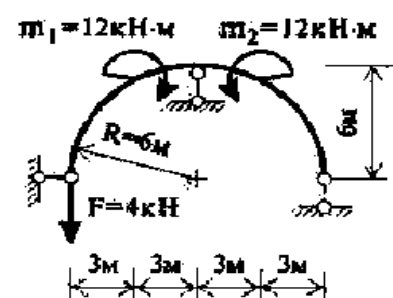
2.2.43



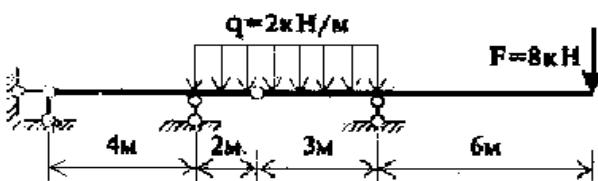
2.2.44



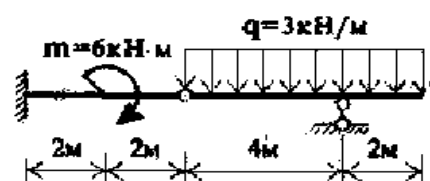
2.2.45



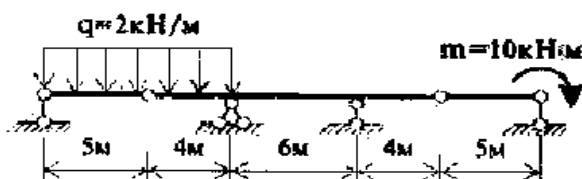
2.2.46



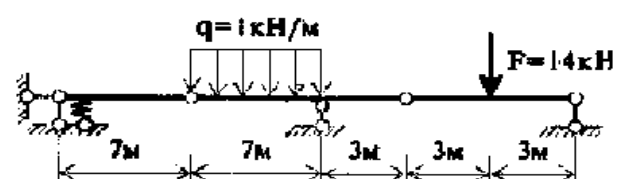
2.2.47



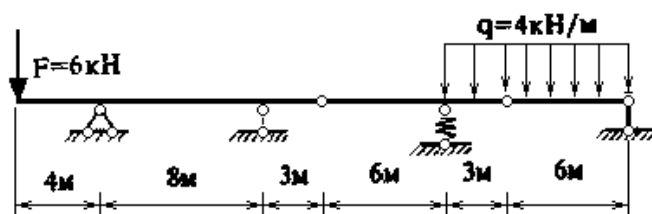
2.2.48



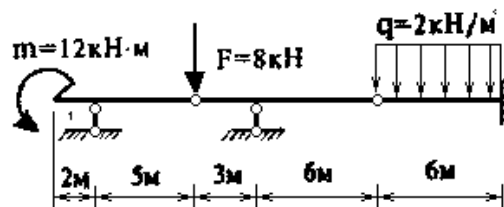
2.2.49



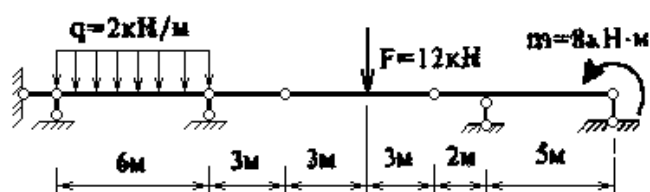
2.2.50



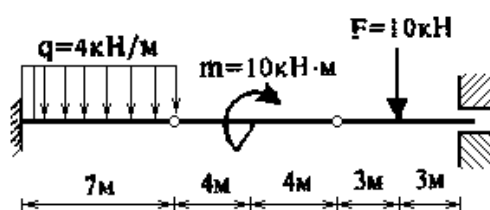
2.2.51



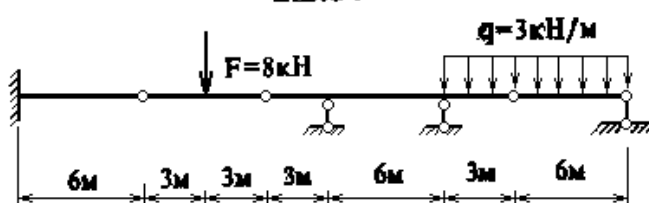
2.2.52



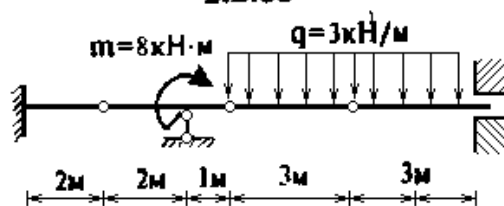
2.2.53



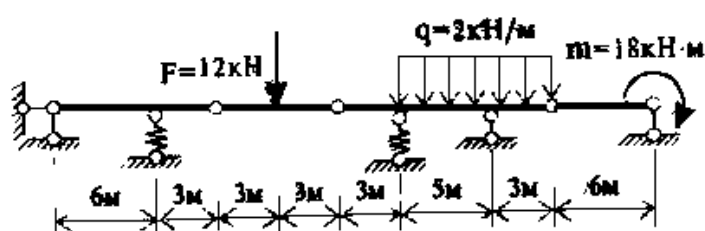
2.2.54



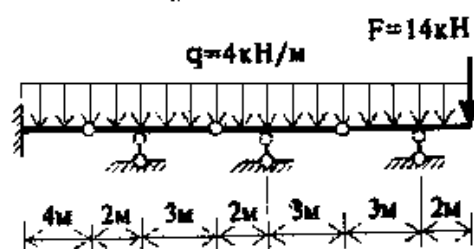
2.2.55



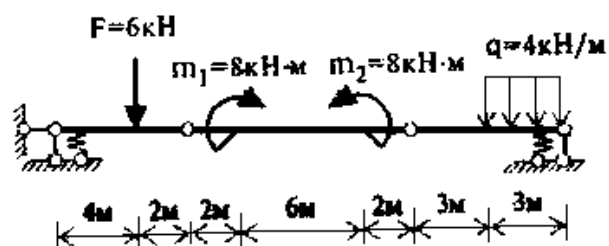
2.2.56



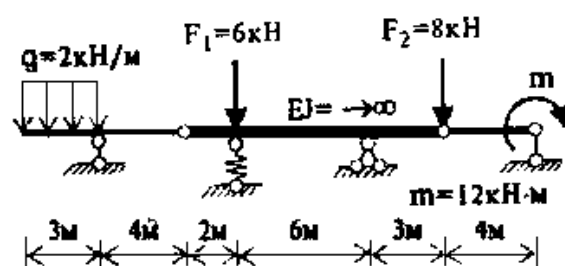
2.2.57



2.2.58



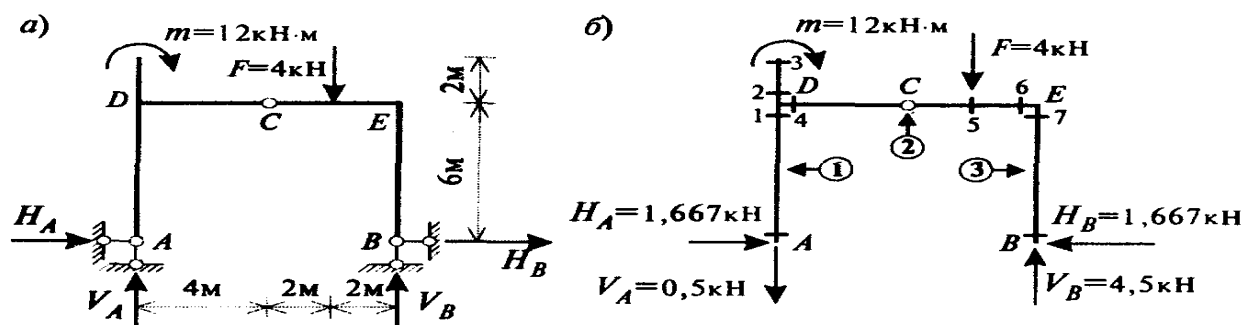
2.2.59



2.3-§ Уч шарнирли ва брикмали рамаларда ички зўриқишларни аниқлаш.

Уч шарнирли рамаларда ички зўриқишлар оддий рамалардагидек, лекин ҳовон таянч реакциясини ёки тортқичдаги зўриқишни ҳисобга олган ҳолда, аниқланади. Эслатиб ўтамизки, тортқичдаги бўйлама зўриқишни (H_T) аниқлаш учун оралик (кулф) C шарнири ва тортқич орқали кесим ўтказилади ва $\sum M_C^{чан} = 0$ ёки $\sum M_C^{юз} = 0$ тенгламалари тузилади. Моментлар эпюрасини қуришда, тортқични вақтинча (онгимизда) олиб ташлаб, уни топилган H_T зўриқиши билан алмаштириб оддий йиғиқ куч деб ҳисоблаш мумкин.

2.22- мисол. Уч шарнирли рама учун M, Q, N эпюралари қурилсин (2.3.1, а- расм).

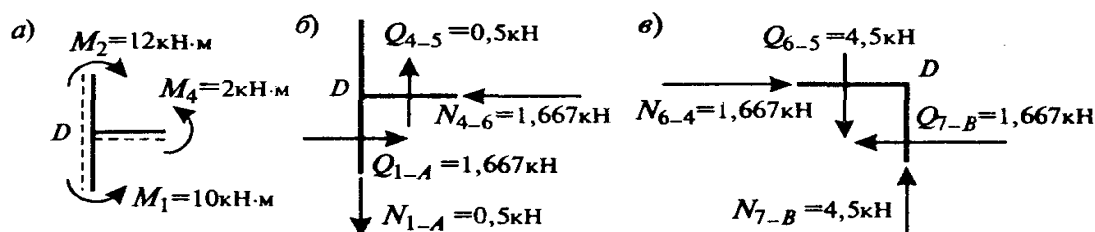


2.3.1-расм

Таянч реакцияларини қуйидаги мувозанат тенгламаларидан аниқлаймиз.

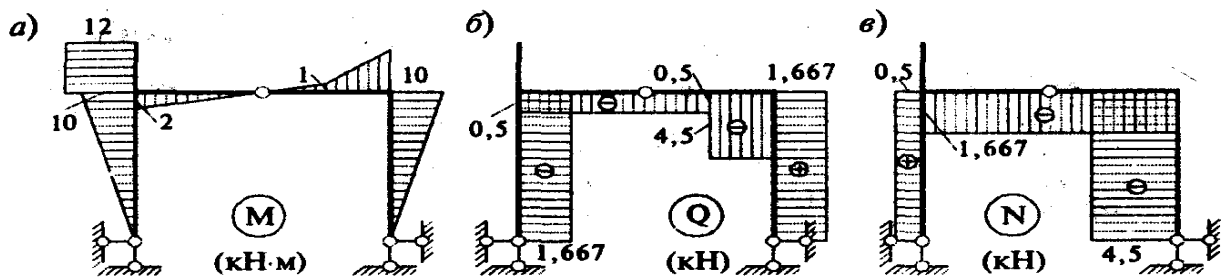
1. $\sum M_A = 0$; $-V_B \cdot 8 + 4 \cdot 6 + 12 = 0$, $V_B = 4.5$ кН.
2. $\sum M_B = 0$; $V_A \cdot 8 + 12 - 4 \cdot 2 = 0$, $V_A = -0.5$ кН.
3. $\sum M_C^{чан} = 0$; $-0.5 \cdot 4 - H_A \cdot 6 + 12 = 0$, $H_A = 1.667$ кН.
4. $\sum M_C^{юз} = 0$; $-4.5 \cdot 4 + 4 \cdot 2 - H_B \cdot 6 = 0$, $H_B = -1.667$ кН.
5. Текшириш: $\sum Y = 0$; $-0.5 + 4.5 - 4 = 4 - 4 = 0$.

2.3.1,б- расмда таянч реакцияларининг ҳақиқий қийматлари ва йўналишлари, M эпюрасини қуриш учун моментларни топиш зарур бўлган характерли кесимлар кўрсатилган. Раманинг ичига ҳаёлда, ҳар бир стерженга юзи билан буриладиган, кузатувчини жойлаштирамиз (кузатувчининг ҳолат номери стрелкали юмалоқ билан белгиланган). Характерли кесимлардаги эгувчи моментнинг мусбат қийматларини стерженнинг пастки томонига (кузатувчига), манфийларини-юқорига (кузатувчидан) қўйилишини, яна бир марта эслатиб ўтамиз (58-бетга қаранг).



2.3.2-расм

А шарнирда момент нолга тенг. 1-кесим: $M_1 = -H_B \cdot 6 = -1,667 \cdot 6 = -10$ (кН·м) 1-холатга кўра, M_1 моментидаги «манфий» ишора, бу ординатани кузатувчидан юқорига қўйиш керак (2.3.3, а- расм). Чап толалари чўзилувчи (2.3.3, а- расмга қаранг) 2-3 консолдаги моментлар эпюраси жадвалга оиддир (2.1 жадв. 6-ваз. қаранг.).



2.3.3-расм

4-кесим: $M_4 = -V_4 \cdot 0 - H_A \cdot 6 + m = -1,667 \cdot 6 + 12 = 2$ кН·м.

2-холатдан моментнинг «мусбат» ишораси уни ригелдан пастга қўйиш кераклигини билдиради (2.3.3, а- расмга қаранг) С шарнирда момент нолга тенг.

5-кесим: $M_5 = V_B \cdot 2 - H_B \cdot 6 = 4,5 \cdot 2 - 1,667 \cdot 6 = -1$ кН·м. M_5 моментнинг қиймати «манфий» ишорали, у ҳолда уни ригелдан юқорига қўямиз (2.3.3, а- расмга қаранг).

6-кесим: $M_6 = V_A \cdot 0 - H_B \cdot 6 = -1,667 \cdot 6 = -10$ кН·м. $M_6 < 0$ сабабли, уни M_5 моменти каби, ригелнинг юқорисига қўямиз. (2.3.3, а- расмга қаранг). Е тугунининг мувозанатидан, $M_7 = M_6$ ва ташқи толалар чўзилувчи бўлиши келиб чиқади. 7-В бўлакда M эпюраси, В шарниридаги нол ординатаси билан, тўғри чизиқли бўлади (2.3.3, а- расмга қаранг).

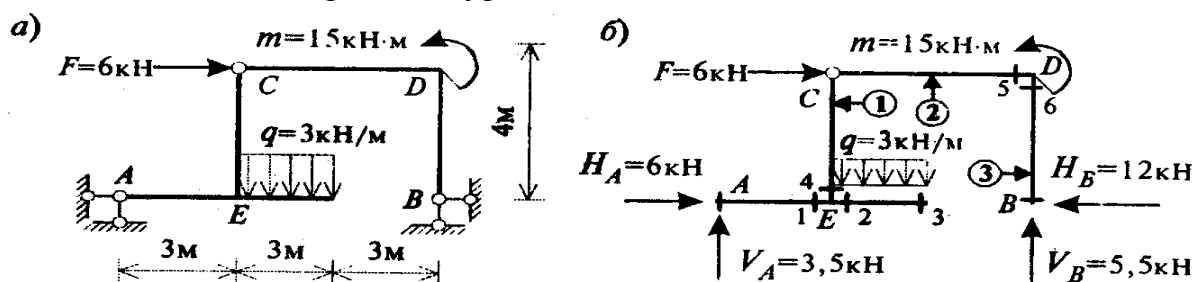
2.3.2, а- расмдан, уч стерженли D тугунида мувозанат шarti бажарилгани кўриниб турибди. Эгувчи моментлар эпюраси 2.3.3, а- расмда кўрсатилган.

Q эпюраси ғоятда оддий қурилади. $Q_{1-A} = -10/6 = -1,667$ кН; $Q_{2-3} = 0$; $Q_{4-5} = -(2+1)/6 = -0,5$ кН; $Q_{6-5} = -(10-1)/2 = -4,5$ кН; $Q_{7-B} = 10/6 = 1,667$ кН. Кесувчи кучлар эпюраси 2.3.3, б- расмда тасвирланган.

Кесувчи ва бўйлама кучлар бўйича тугунлар мувозанати 2.3.2 б, в- расмларда кўрсатилган. N эпюраси 2.3.3, в- расмда келтирилган.

2.23- мисол. Уч шарнирли рама учун M, Q, N эпюралари қурилсин (2.3.4, а- расм).

Таянч реакциялари, характерли кесимлар ва кузатувчининг бирин-кетин ҳолати 2.3.4, б- расмда кўрсатилган



2.3.4-расм

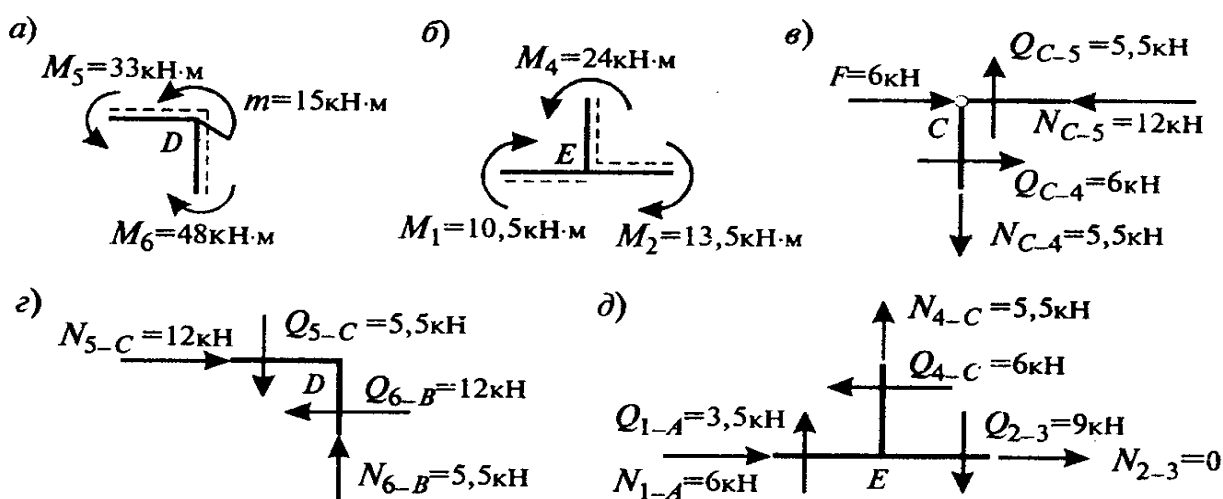
A-1 стерженига бўйлама таъсир қилувчи $H_A = 6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ кучи унда момент ҳосил қилмаганлиги сабабли (куч елкаси нолга тенг), бу стержендаги ва 2-3 стерженидаги M ва Q эпюралари жадвалга оид бўлади (2.1-жадв, 5,4-ваз).

$$M_1 = V_A \cdot 3 = 3,5 \cdot 3 = 10,5 \text{ (кН} \cdot \text{м)}; \quad M_2 = ql^2/2 = -3 \cdot 3^2/2 = -13,5 \text{ (кН} \cdot \text{м)};$$

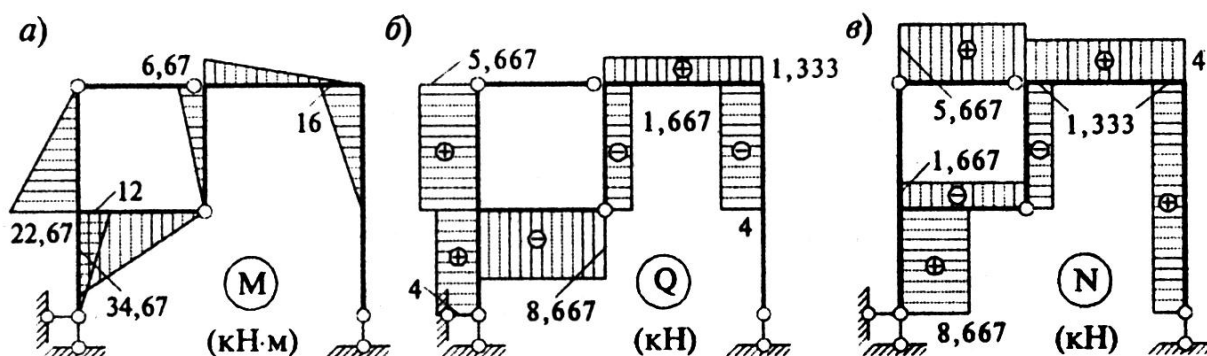
$M_4 = V_A \cdot 3 + ql^2/2 = 3,5 \cdot 3 + 3 \cdot 3^2/2 = 24 \text{ (кН} \cdot \text{м)}$ (устуннинг ўнг тоалари чўзилувчи бўлади).

$$M_5 = -H_B \cdot 4 + V_B \cdot 0 + m = -12 \cdot 4 + 15 = -33 \text{ (кН} \cdot \text{м)}$$

2-ҳолатдан, M_5 олдидаги «манфий» уни кузатувчидан, яъни юқорига кераклигини кўрсатади. $M_6 = -H_B \cdot 4 = -12 \cdot 4 = -48 \text{ кН} \cdot \text{м}$. 3-ҳолатдан «манфий» ишора уни кузатувчидан, яъни устуннинг ўнг томонига қўйиш кераклигини билдиради. M эпюраси 2.3.6, а- расмда, D ва E тугунларининг мувозанатини текшириш 2.3.5, а,б- расмларда кўрсатилган.



2.3.5-расм



2.3.6-расм

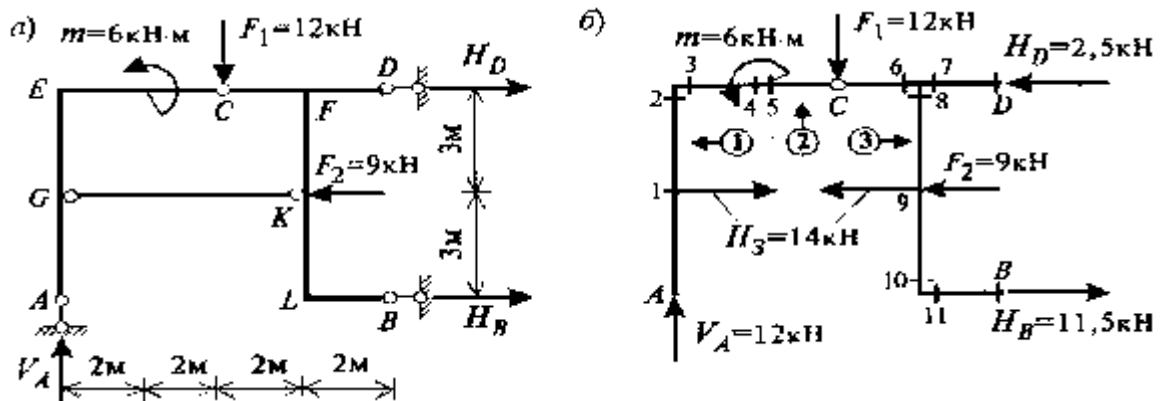
Q эпюрасини M эпюраси бўйича курамыз.

$$Q_{A-1} = -10,5/3 = 3,5 \text{ кН}; \quad Q_{2-3} = ql = 3 \cdot 3 = 9 \text{ кН};$$

$$Q_{4-C} = -24/4 = -6 \text{ кН}; \quad Q_{C-5} = -33/6 = -5,5 \text{ кН};$$

$Q_{6-B} = 48/4 = 12 \text{ кН}$. Q эпюраси 2.3.6, б- расмда тасвирланган. Бўйлама кучларни аниқлаш 2.3.5 в...д- расмларда N эпюраси эса 2.3.6, в-расмда, кўрсатилган.

2.24- мисол. Уч шарнирли тортқичли рама учун M, Q, N эпюралари қурилсин (2.3.7, а- расм).



2.3.7-расм

Таянч реакциялари ва торткичдаги зўриқишни куйидаги мувозанат тенгламаларидан топамиз:

$$1. \sum Y = 0; \quad V_A - 12 = 0; \quad V_A = 12 \text{ кН}.$$

$$2. \sum M_A = 0; \quad H_D \cdot 6 - 9 \cdot 3 + 12 \cdot 4 - 6 = 0, \quad H_D = -2,5 \text{ кН}.$$

3. H_B реакциясини, V_A ва H_D реакцияларининг кесишиш нуқтаси E га нисбатан, ҳамма кучлар моментларининг йиғиндисини ёзиб аниқлаймиз.

$$\sum M_E = 0; \quad -6 + 12 \cdot 4 + 9 \cdot 3 - H_B \cdot 6 = 0, \quad H_B = 11,5 \text{ кН}.$$

$$4. \sum M_C = 0; \quad 12 \cdot 4 - 6 - H_T \cdot 3 = 0, \quad H_T = 14 \text{ кН}.$$

$$5. \text{Текшириш: } \sum M_C^{yuz} = 0; \quad -11,5 \cdot 6 + 9 \cdot 3 + H_3 \cdot 3 = 0, \quad H_3 = 14 \text{ кН}.$$

$$6. \text{Текшириш: } \sum X = 0; \quad -9 - 2,5 + 11,5 = -11,5 + 11,5 = 0.$$

Таянч реакциялари, торткичнинг зўриқиши, характерли қисмлар ва кузатувчининг ҳолатлари 2.3.7, б- расмда кўрсатилган. M эпюрасини куришда, торткичдаги зўриқишни $H_3 = 14 \text{ кН}$ ҳаёлда иккита одатдаги йиғиқ кучлар билан алмаштирилади.

2.3.7, а, б-расмларни таҳлилидан, $M_A = M_B = M_D = M_C = M_1 = M_7 = M_{10} = M_{11} = 0$, бўлади бундан ташқари

$M_2 = M_3$ ва $M_6 = M_8$, $M_2 = V_A \cdot 0 - H_T \cdot 3 = -14 \cdot 3 = -42 \text{ кН} \cdot \text{м}$. 1-ҳолатдан, M_2 олдидаги «манфий» ишора унинг ординатаси кузатувчидан кетувчи қилиб қўйиш, яъни устуннинг чап толалари чўзилишини билдиради.

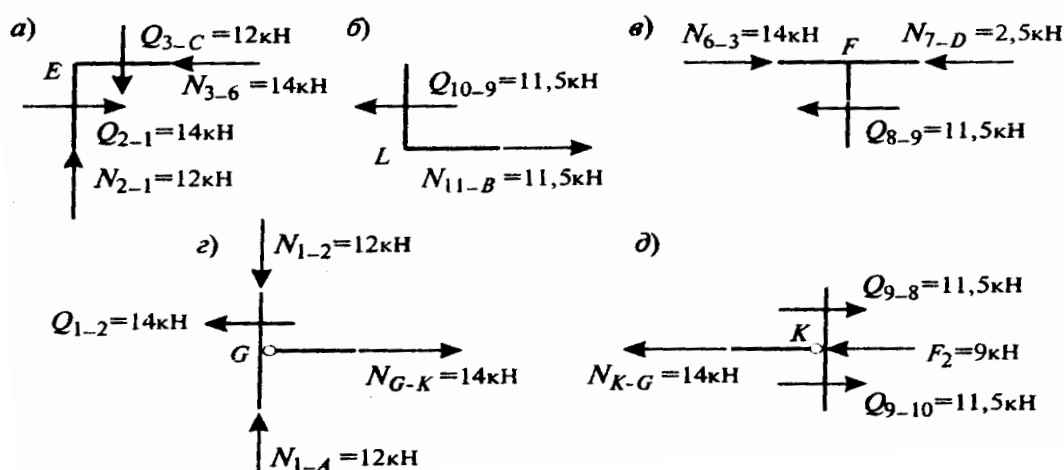
$$M_4 = V_A \cdot 2 - H_3 \cdot 3 = 12 \cdot 2 - 14 \cdot 3 = -18 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad M_5 = M_4 - m = -18 - 6 = -24 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_9 = H_B \cdot 3 = 11,5 \cdot 3 = 34,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

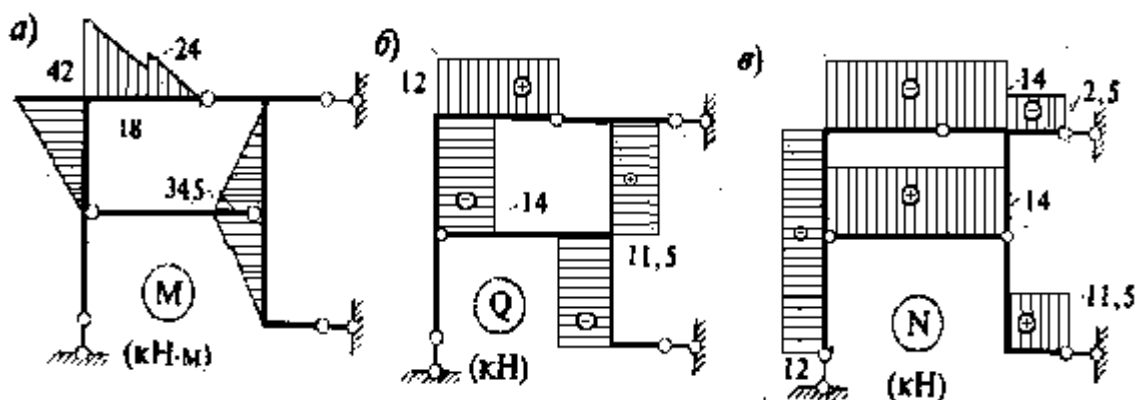
3- ҳолатдан, M_9 моментининг «мусбат» ишораси бу ординатани кузатувчи томонига қўйишни устуннинг чап толалари чўзилувчи бўлишини билдиради:

$M_8 = H_B \cdot 6 - (H_T + F_2) \cdot 3 = 11,5 \cdot 6 - (14 + 9) \cdot 3 = 69 - 69 = 0$. F тугунининг мувозанатидан, $M_7 = M_8 = 0$ сабабли, $M_6 = 0$ келиб чиқади. M ва Q эпюралари 2.3.9, а, б-расмларда келтирилган.

Бўйлама кучларни аниқлаш 2.3.8а...д- расмларда, N эпюраси эса 2.3.9в- расмда кўрсатилган.



2.3.8-расм



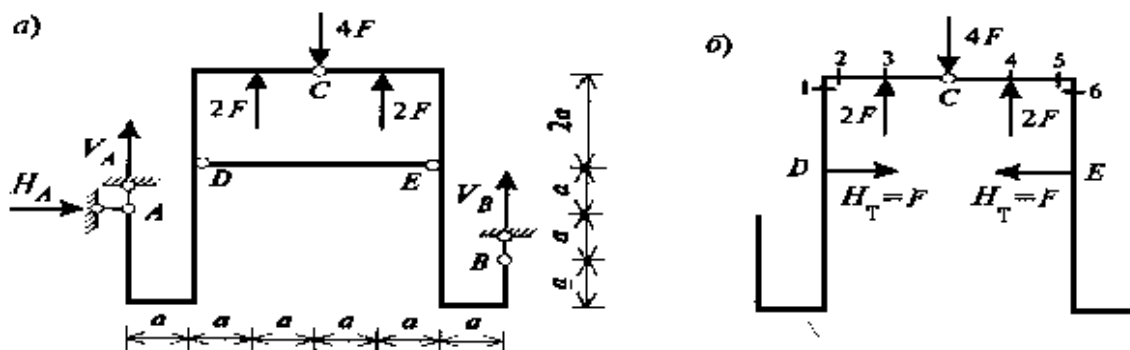
2.3.9-расм

2.25- мисол. Уч шарнирли тортқичли рама учун M, Q, N эпюралари курилсин (2.3.10, а- расм).

Берилган системага ўзаро мувозанатлашган юклар таъсир қилади, улардан таянч реакциялари нолга тенг бўлиши керак.

Ҳақиқатдан ҳам:

1. $\sum X = 0$; $H_A = 0$.
2. $\sum M_B = 0$; $V_A \cdot 6a + 2F \cdot 4a - 4F \cdot 3a + 2F \cdot 2a = 0$, $V_A = 0$.
3. $\sum M_A = 0$; $-V_B \cdot 6a + 2F \cdot 4a + 4F \cdot 3a - 2F \cdot 2a = 0$, $V_B = 0$.
4. $\sum M_C^{\text{чан}} = 0$; $2F \cdot a - H \cdot 2a = 0$, $H_T = F$.
5. Текшириш: $\sum M_C^{\text{уНЭ}} = 0$; $-F \cdot a + H_T \cdot 2a = 0$, $H_T = F$.



2.3.10-расм

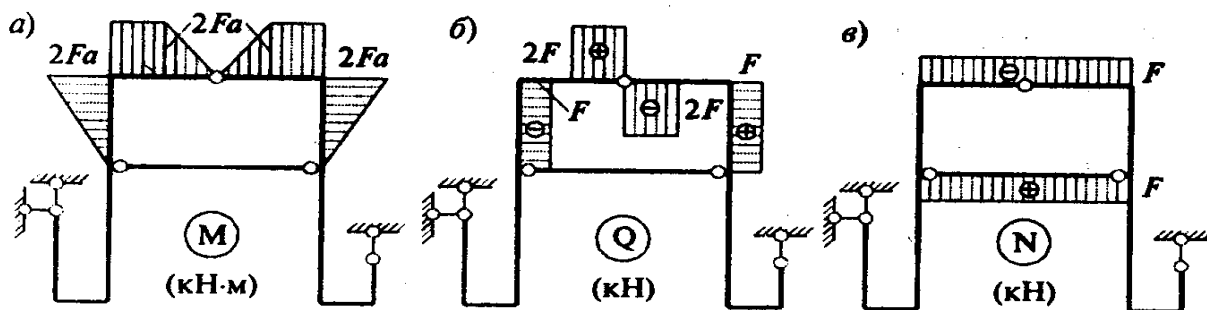
2.25- мисол, статик аниқ системаларнинг тўртинчи хусусиятини тасдиқлайди (33, б. қар). У 2.3.10, а,б- расмларга қўлланганда шундай ифодаланади: агар ўзаро мувозанатлашган юklar $ADCEB$ статик аниқ системанинг маҳаллий геометрик ўзгармас қисми $DCED$ га қўйилса, зўриқишлар фақат шу $DCED$ қисмида ҳосил бўлади, берилган системанинг барча қолган қисмида зўриқишлар нолга тенг бўлади.

D, C, E кесимларида моментлар нолга тенг.

1-кесим (2.3.10, б- расмга қаранг.): $M_1 = -H_3 \cdot 2a = -F \cdot 2a = -2Fa$ ($M_2 = M_1$).

3- кесим (2.3.10, б- расмга қаранг): $M_3 = M_1 = M_2 = -2Fa$.

Симметрия шартидан: $M_4 = M_3$; $M_5 = M_2$; $M_6 = M_1$ га эга бўламиз.



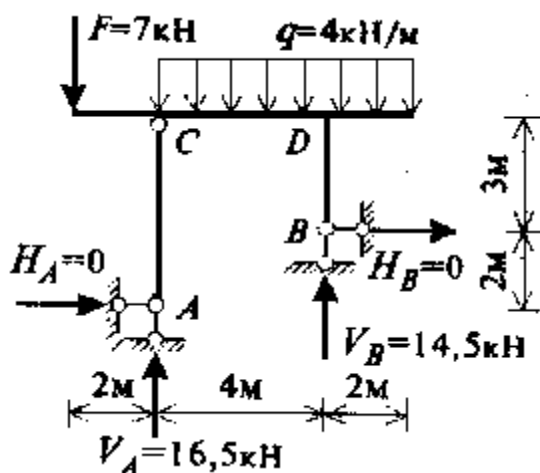
2.3.11-расм

Ички зўриқишларнинг M, Q, N эпюралари 2.3.11, а...в- расмларда келтирилган.

2.26- мисол. Рама учун M, Q, N эпюралари курилсин (2.3.12-расм).

Таянч реакцияларини аниқлаш :

1. $\sum M_C^{чан} = 0$; $-H_A \cdot 5 = 0$, $H_A = 0$.
2. $\sum X = 0$; $H_B = 0$;
3. $\sum M_A = 0$; $-V_B \cdot 4 + 4 \cdot 6 \cdot 3 - 7 \cdot 2 = 0$, $V_B = 14,5$ кН.
4. $\sum M_B = 0$; $V_A \cdot 4 - 7 \cdot 6 - 4 \cdot 6 \cdot 1 = 0$, $V_A = 16,5$ кН.
5. Текшириш: $\sum Y = 0$; $16,5 + 14,5 - 4 \cdot 6 - 7 = 31 - 31 = 0$.

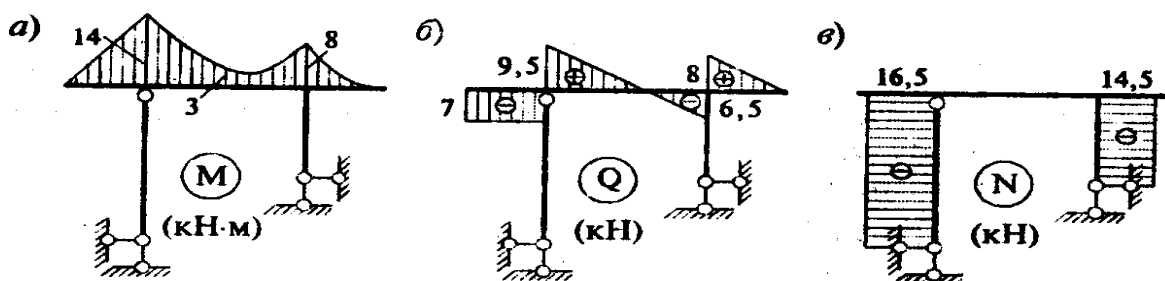


2.3.12-расм

Аниқланишига кўра, берилган рама уч шарнирли ҳисобланади, лекин унда вертикал юklarдан реакцияларнинг горизонтал ташкил этувчиси нолга тенг бўлади. Шунинг учун ҳам, берилган рама ҳовонсиз рама дейилади.

$H_A = H_B = 0$ сабабли, AC ва BD устунларда момент эпюралари нолга тенг бўлади, консолларда эса - оддийлашган балка учун ички зўриқишлар жадвали (2.1-жадв, 4,5-ваз.) ёрдамида курилади. Рама оралиғида, C ва D нукталаридаги чекка моментларни туташтирувчи

чизикқа, ўрта ординатаси $ql^2/8$ кН·м га тенг квадрат парабола «осилади» (2.2.3, д- расмга қар.). M, Q, N эпюралар 2.3.13, а...в- расмларда кўрсатилган.



2.3.13-расм

2.27- мисол. Уч шарнирли тортқичли рама учун M, Q, N эпюралари курилсин (2.3.14, а- расм).

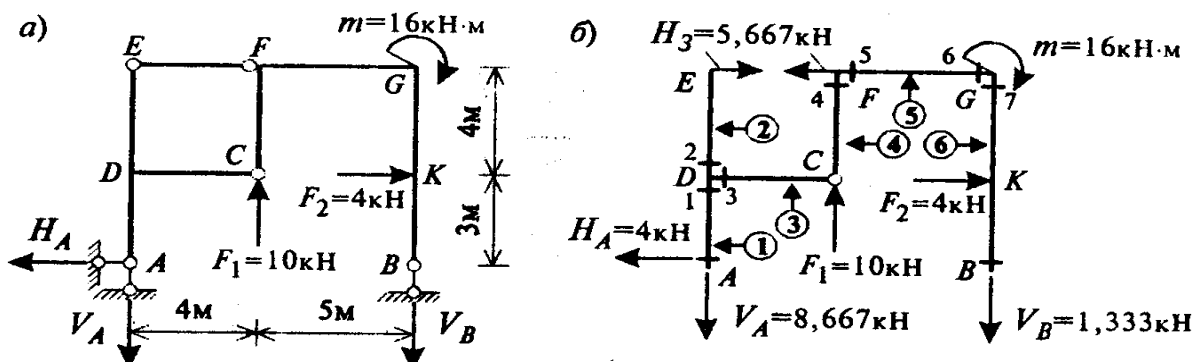
Таянч реакцияларини аниқлаш:

$$1. \sum X = 0; \quad -H_A + F_2 = 0, \quad H_A = F_2 = 4 \text{ кН.}$$

$$2. \sum M_A = 0; \quad 16 + 4 \cdot 3 - 10 \cdot 4 + V_B \cdot 9 = 0, \quad V_B = 1,333 \text{ кН.}$$

$$3. \sum M_B = 0; \quad -V_A \cdot 9 + 10 \cdot 5 + 4 \cdot 3 + 16 = 0, \quad V_A = 8.667 \text{ кН.}$$

4. Тортқичдаги зўриқишни аниқлаш учун EF стержени ва C шарнири орқали кесим ўтказамиз, раманинг ўнг қисмини ташлаб юбориб, барча чап қисмдаги кучларни C шарнирига нисбатан моментларнинг мувозанат тенгламасини ёзамиз:



2.3.14-расм

$$\sum M_C^{чап} = 0; \quad -8,667 \cdot 4 + 4 \cdot 3 + H_T \cdot 4 = 0, \quad H_T = 5.667 \text{ кН.}$$

$$5. \text{Текшириш: } \sum Y = 0; \quad -8,667 - 1,333 + 10 = -10 + 10 = 0.$$

Таянч реакциялари, тортқичдаги зўриқиш, характерли кесимлар ва кузатувчининг кетма-кет ҳолатлари 2.3.14,б-расмда кўрсатилган. M эпюрасини қуришда тортқичдаги зўриқиш $H_T = 5,667$ кН E ва F тугунларига қўйилган иккита йиғиқ куч билан алмаштирилади.

2.3.14, б- расмдан, $M_A = M_B = M_C = M_E = M_K = 0$ келиб чиқади, $A-1, E-2, K-7$ бўлақларида эса, ординаталари: $M_1 = 4 \cdot 3 = 12$ кН, $M_2 = 5,667 \cdot 4 = -22,67$ кН, $M_7 = 4 \cdot 4 = 16$ кН га тенг бўлган M эпюралари жадвалга оид бўлади (2.1 -жадв, 5 - ваз. қар.).

3-кесимдаги моментни чап қисмининг мувозанат шартидан аниқлаймиз: $M_3 = -8,667 \cdot 0 + 4 \cdot 3 + 5,667 \cdot 4 = 34,67$ кН. 3-вазиятдаги кузатувчининг ҳолатидан, M_3 моментидаги «мусбат» ишора, бу ординатани кузатувчи томонга қўйишни, яъни пастки толалар чўзилувчи бўлишлигини кўрсатади.

4-кесимдаги эгувчи моментни худди шундай, чап қисмини мувозанатидан топиш қулайдир: $M_4 = -8,667 \cdot 4 + 4 \cdot 7 - 6,67$ кН. M_4 моментидаги «манфий»

ишораси, 4-вазиятдаги кузатувчи учун ординатани кузатувчидан қўйишни, яъни $C-4$ устуни чап толалари чўзилувчи бўлишини билдиради.

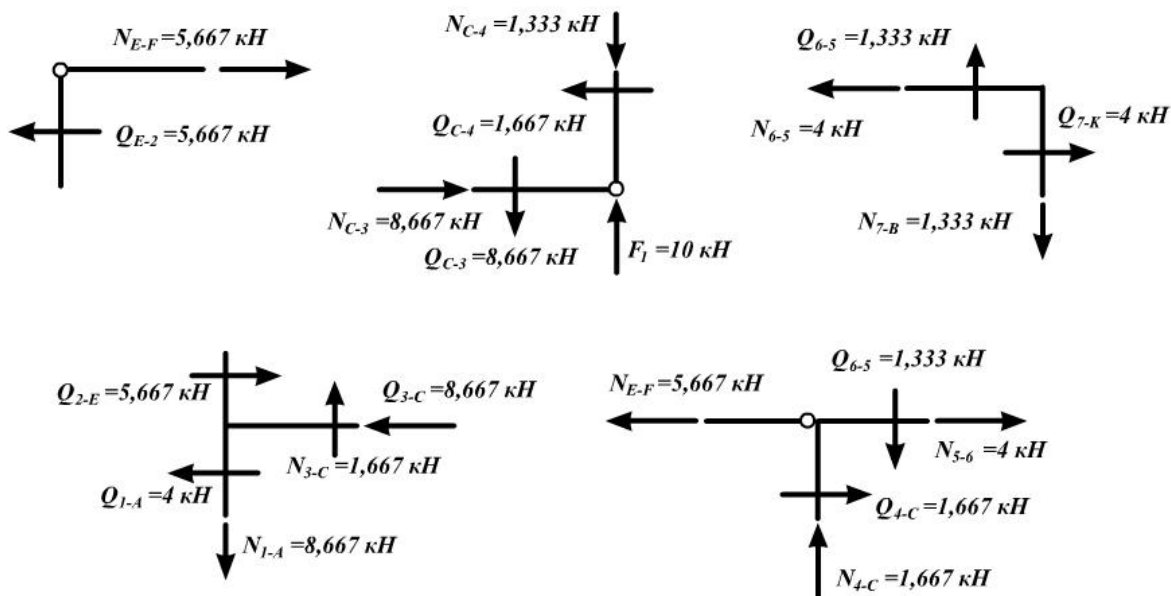
F тугунининг мувозанатидан, $M_5=M_4$ ва юқориги толалар чўзилиши келиб чиқади.

6-кесимдаги эгувчи моментни ўнг қисмнинг мувозанат шартидан топамиз: $M_6 = -1,333 \cdot 0 + 4 \cdot 4 - 16 = 0$.

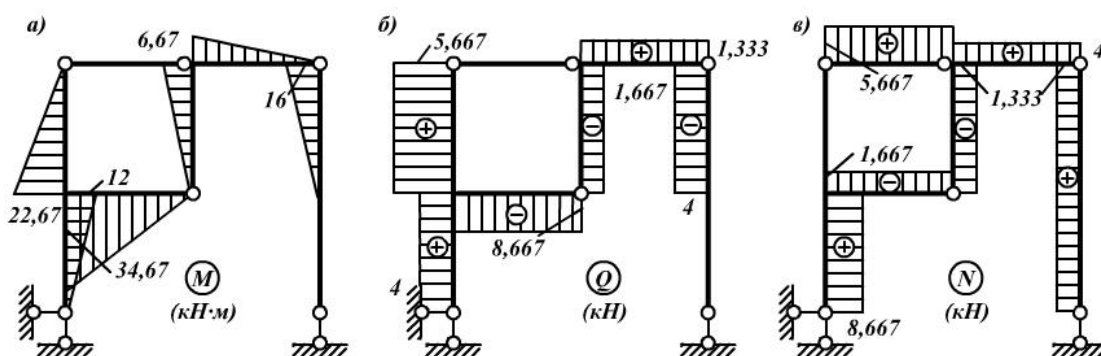
Эгувчи моментлар эпюраси 2.3.16, а-расмда тасвирланган.

Q эпюраси (2,3,16, б-расм) одатдагидек M эпюраси бўйича қурилади.

Бўйлама кучларни аниқлаш 2,3,15, а...д-расмларда, N эпюраси эса 2,3,16, в- расмда кўрсатилган.

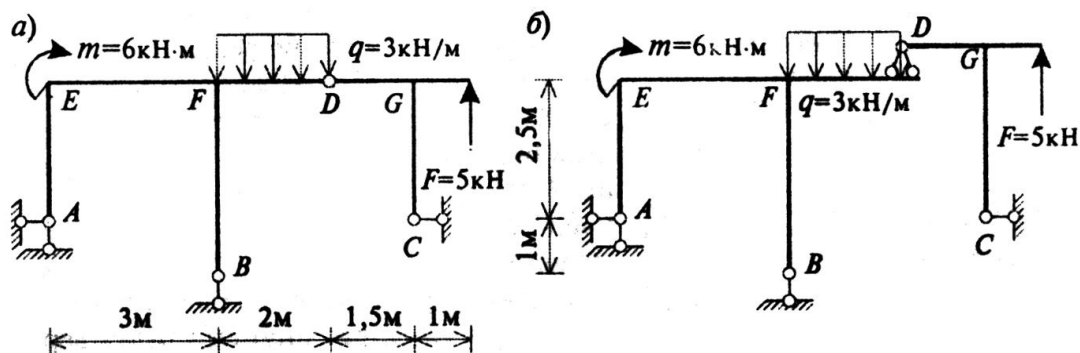


2.3.15-расм



2.3.16-расм

2.28- мисол. Кўп ораликли рама учун M, Q, N эпюралари қурилсин (2.13.17, а- расм).

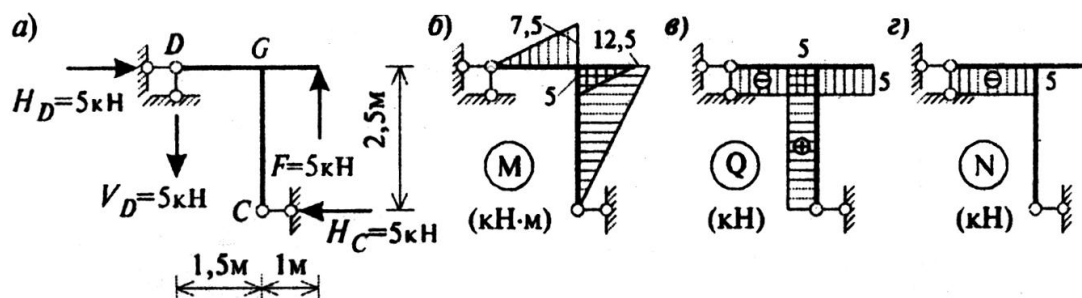


2.3.17-расм

2.3.17,б- расмда берилган раманинг қаватлар схемаси тасвирланган.

Ҳисоблаш юқориги қаватдан яъни DGC иккинчи даражали балкасида бошланади. Таянч реакциялари ва унинг учун жадвалга оид M, Q, N эпюралари 2.3.18, а...г- расмларда кўрсатилган.

Сўнгра пастда жойлашган $AEFDB$ рамасини ҳисоблашга ўтамыз. Бу рама унга қўйилган ташқи юк ва юқоридаги DGC рамасининг тескари йўналишда олинган таянч реакциялари, $H_D=5$ кН ва $V_D=5$ кН кўринишдаги қўшимча юклардан ҳисобланади (2.3.19, а - расм).



2.3.18-расм

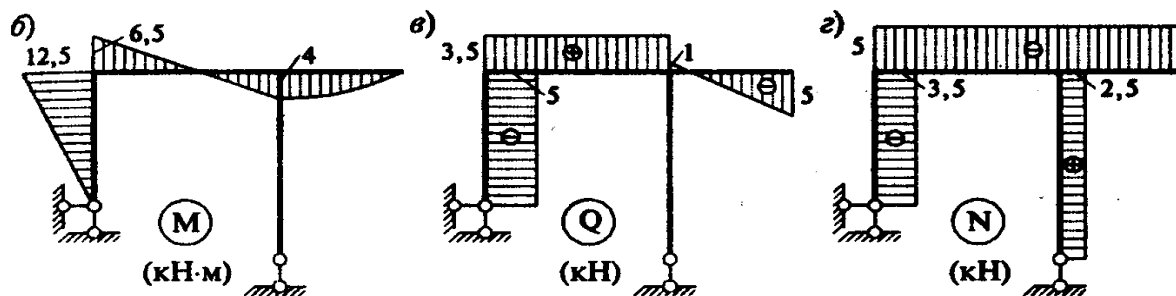
Таянч реакциялари, моментларнинг сон қийматларини аниқлаш керак бўлган характерли кесимлари, 2.3.19-расмда келтирилган.

1-кесим: $M_1 = -5 \cdot 2,5 = -12,5$ кН·м, устуннинг чап тоналари чўзилувчи бўлади.

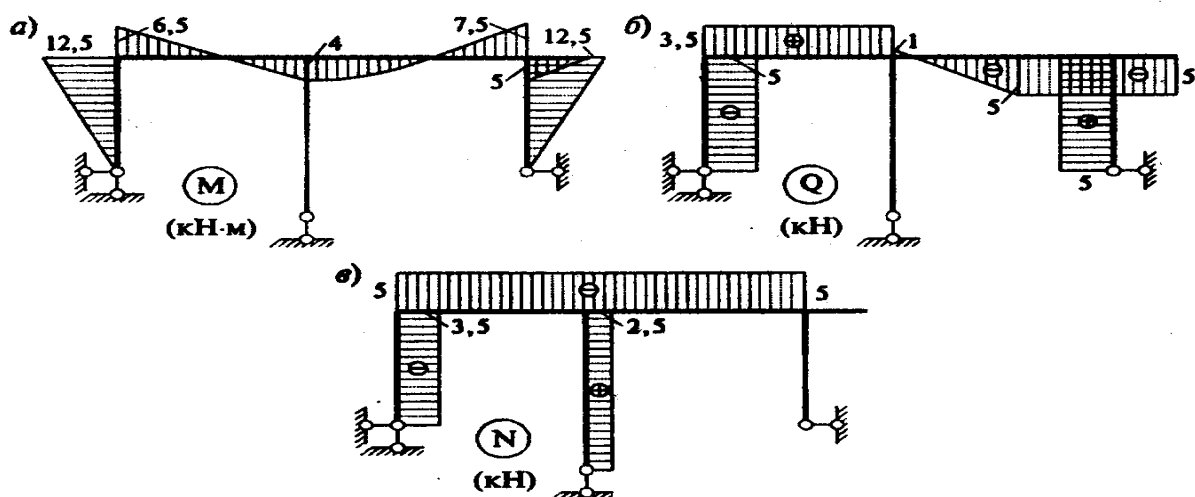
2-кесим: $M_2 = -5 \cdot 2,5 + 6 = -6,5$ кН·м, юқориги тоналар чўзилувчи.

4-кесим: $M_4 = 5 \cdot 2 - 3 \cdot 2 \cdot 1 = 4$ кН·м, пастки тоналари чўзилувчи.

$M_5 = 0$ сабабли, $M_3 = M_4$. M, Q, N эпюралари 2.3.19, б..г- расмда тасвирланган. Бутун рама учун охирги M, Q, N эпюралари 2.3.20, а...в- расмларда кўрсатилган.

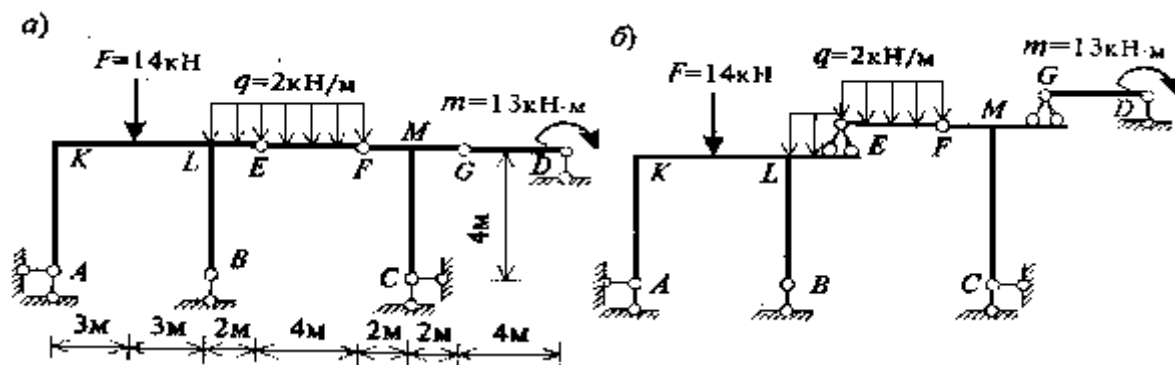


2.3.19-расм

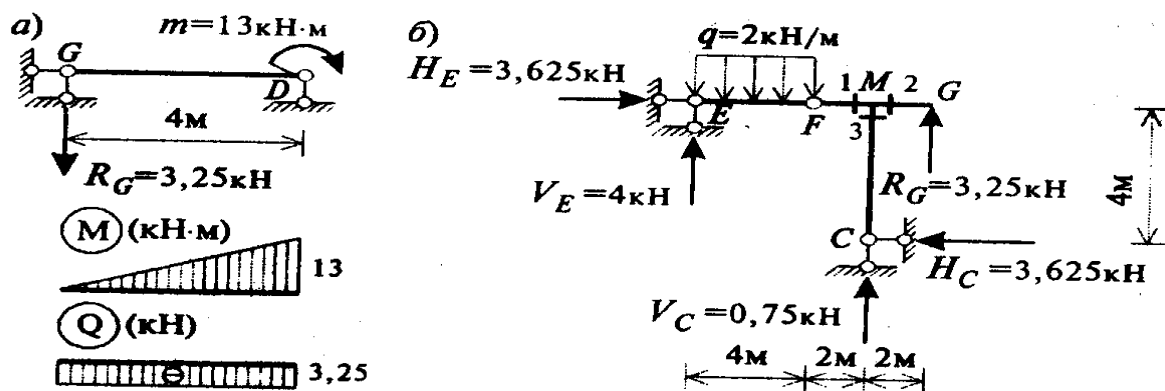


2.20-расм

2.29- мисол. Рама учун M, Q, N эпюралари курилсин. (2.321, а- расм). Қаватлар схемаси 2.3.21, б- расмда тасвирланган. Оддийлашган GD балкаси учун M ва Q эпюралари 2.3.22, а- расмда кўрсатилган. Остида ётган $EFGC$ уч шарнирли рама, унга таъсир қилувчи юклар, таянч реакциялари ва характерли кесимлари билан 2.3.22, б- расмда кўрсатилган.



2.3.21-расм



2.3.22-расм

2.3.22, б- расмдан, $M_E = M_F = M_C = M_G = 0$ лиги кўриниб турибди. Қуйида бошқа кесимлар учун моментларнинг ҳисоблари келтирилади.

2-кесим: $M_2 = 3,25 \cdot 2 = 6,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$, пастки толалар чўзилган.

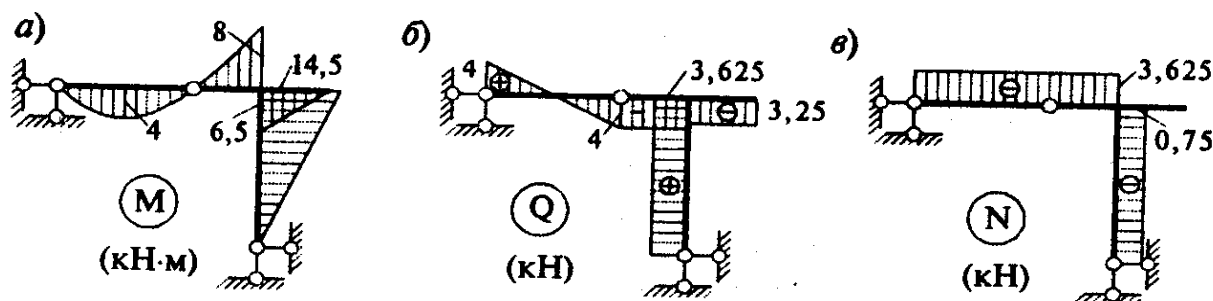
3-кесим: $M_3 = 3,625 \cdot 4 = 14,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$, ўнг толалар чўзилган.

1-кесим: $M_1 = 3,25 \cdot 2 - 3,625 \cdot 4 = -8 \text{ кН} \cdot \text{м}$, юқориги толалар чўзилган.

EF бўлакда M ва Q эпюралари жадвалга оид бўлади.

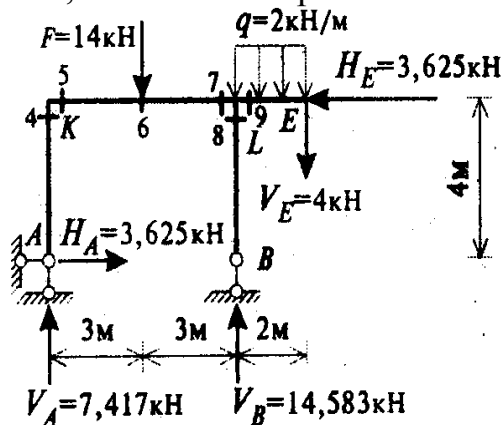
Q эпюраси M эпюраси бўйича, N эпюраси эса Q эпюраси бўйича жуда оддий қурилади.

$EFMGC$ рамаси учун M, Q, N эпюралари 2.3.23, а...в-расмларда келтирилган.



2.3.23-расм,

Нихоят, кўп ораликли раманинг асосий қисмини ҳисоблашга ўтамиз. Унга, бевосита ригелнинг ўртасида йиғиқ куч $F=14 \text{ кН}$, консолга



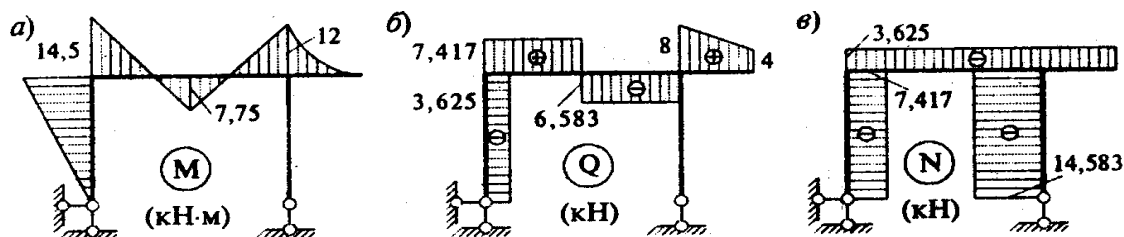
2.3.24-расм

интелсивлиги $q = 2 \text{ кН/м}$ ясси ёйилган юк ва юқорида жойлашган $EFMGC$ уч шарнирли раманинг тескари йўналишда олинган таянч реакциялари $H_E = 3,625 \text{ кН}$ ва $V_E = 4 \text{ кН}$ кўринишидаги қўшимча юклар таъсир қилади (2.3.24- расм).

2.3.24-расмдан, $M_A = M_B = M_E = M_8 = 0$ лиги келиб чиқади. 4,5,6 кесимларнинг моментларини чап қисмининг, 9,7-кесимларнинг моментларини эса ўнг қисмининг мувозанат шартидан

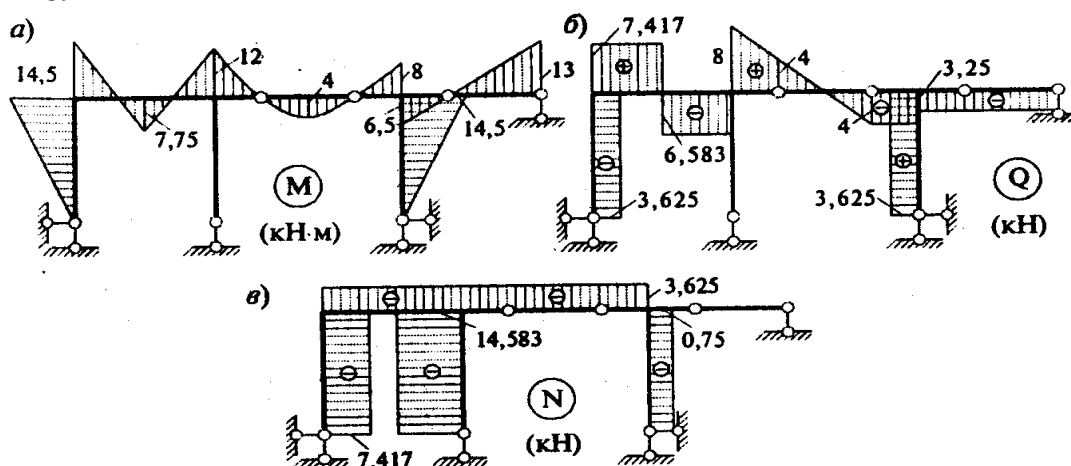
аниқлаймиз. $M_4 = M_5 = 3,625 \cdot 4 = 14,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$, ташқи толалар чўзилган. $M_6 = -3,625 \cdot 4 + 7,417 \cdot 3 = 7,75 \text{ кН} \cdot \text{м}$, пастки толалар чўзилган. $M_8 = 0$ сабабли, уч стерженли L тугунининг мувозанат шартидан $M_9 = M_7 = -4 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1 = -12 \text{ кН} \cdot \text{м}$ келиб чиқади. «Манфий» ишора, LE горизонтал стерженнинг юқориги толалари чўзилувчи бўлишини билдиради.

Асосий рама учун M, Q, N эпюралари 2.3.25, а...в- расмларда тасвирланган.



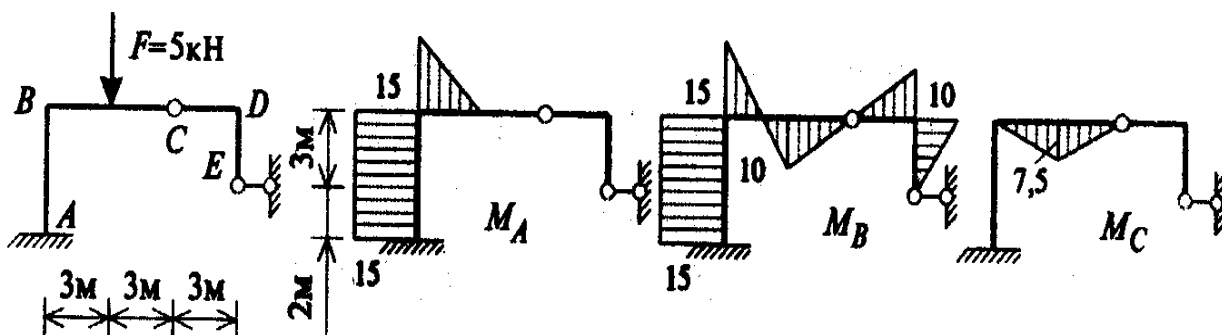
2.3.25-расм

Бутун рама учун охирги M, Q, N эпюраларини (2.3.26, а...в- расм), алоҳида рамалар учун олинган эпюраларни бирлаштириш йўли билан кураимиз.



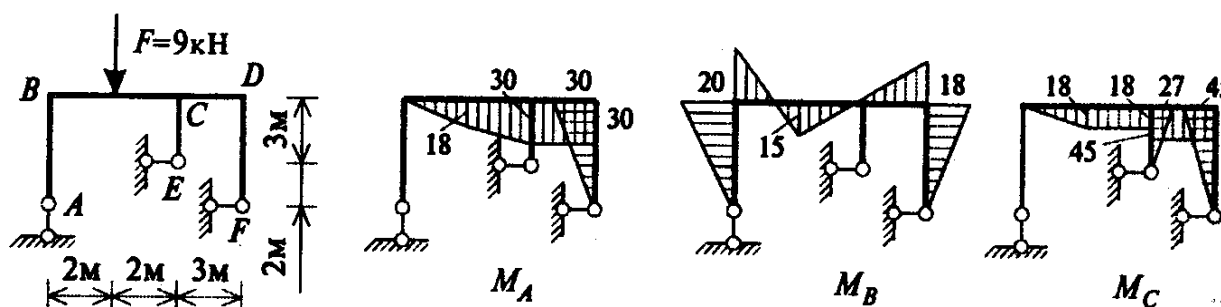
2.3.26-расм

2.30- мисол. Учала момент эпюраларидан, ҳисобламасдан тўғрисиини кўрсатилсин ва нима учун қолганлари нотўғрилиги тушунтирилсин (2.3.27-расм).



2.3.27-расм

Берилган рама учун қаватлар схемасини тузиш мумкин, унда ABC асосий қисми кўзгалмас ва геометрик ўзгармас ҳисобланади, CDE иккинчи даражали қисми эса асосий қисмга таяниб, ундан ўзининг кўзғолмаслик ва геометрик ўзгармаслигига эришади. Бундай системаларда статик аниқ системаларнинг 3- хусусиятига асосан, асосий ABC қисмига қўйилган юк, фақат шу қисми элементларида зўриқишлар ҳосил қилади. Шу хусусиятга асосланиб M_B эпюраси нотўғри (CDE қисмида M эпюраси нолга тенг бўлиши



2.3.28-расм

керак). M_C эпюраси ҳам нотўғри, чунки C шарнирига куч қўйилмаган бўлса ҳам, C шарнирида синиш мавжуд. Шундай қилиб, M_A эпюраси тўғри бўлади.

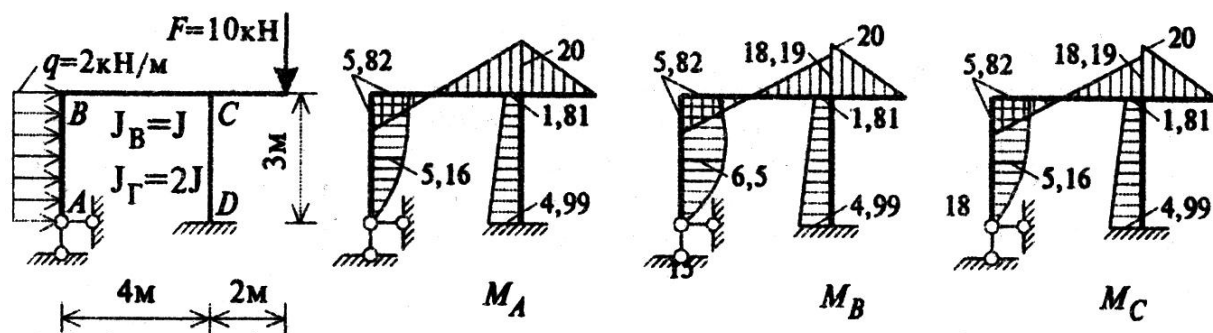
2.31- мисол. Ҳисобламасдан, учала момент эпюраларидан тўғриси кўрсатилсин ва нима учун қолганлари нотўғрилиги тушунтирилсин (2.3.28-расм).

M_A эпюра нотўғри, чунки FD стерженида қурилган M эпюраси фақат горизонтал реакция H_F таъсиридан ҳосил бўлиши мумкин. Агар шундай бўлса, x ўқи бўйича мувозанат тенгламасидан H_E горизонтал реакция ҳосил бўлиши керак ва унинг таъсиридан EC стерженида ҳам M эпюраси бўлиши керак, у эса йўқ. M_A эпюрасини нотўғрилигини бошқача тушунтириш ҳам мумкин. M_A эпюрасидан, фақат битта FD устинида x ўқи бўйича мувозанатлашмаган кесувчи куч борлиги келиб чиқади.

M_B эпюраси ҳам нотўғри, чунки AB стержени бўйлаб йўналган V_A вертикал реакцияси момент ҳосил қилмайди (куч елкаси нолга тенг).

Шундай қилиб, M_C эпюраси тўғри бўлади.

2.32- мисол. Ҳисобламасдан, учала момент эпюраларидан тўғриси кўрсатилсин ва нима учун қолганлари нотўғрилиги тушунтирилсин (2.3.29-расм).



2.3.29-расм

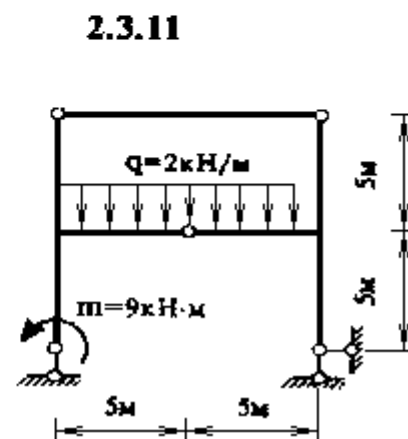
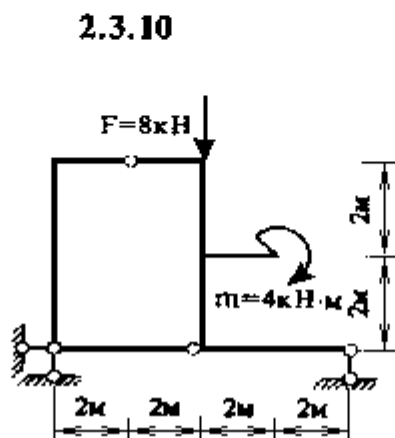
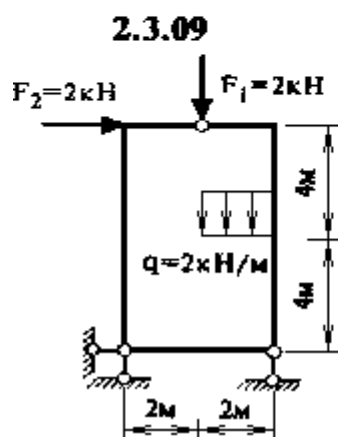
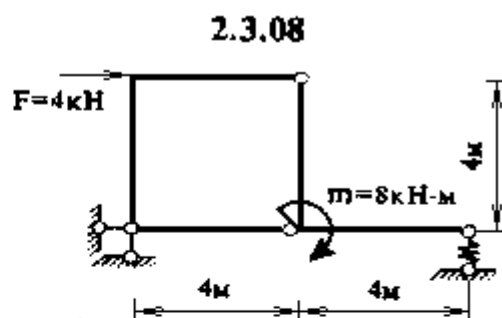
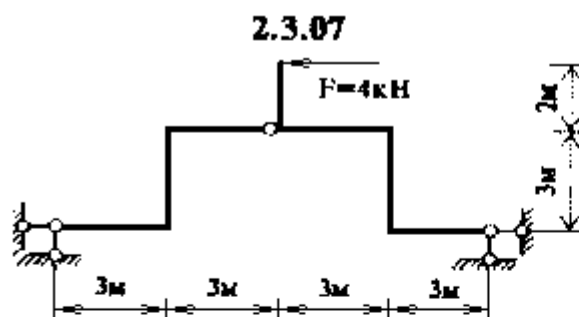
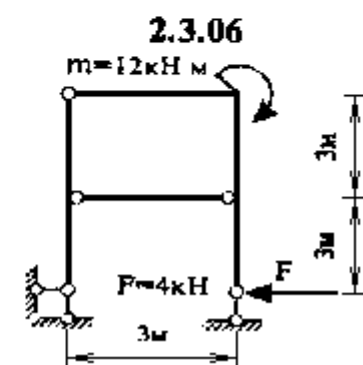
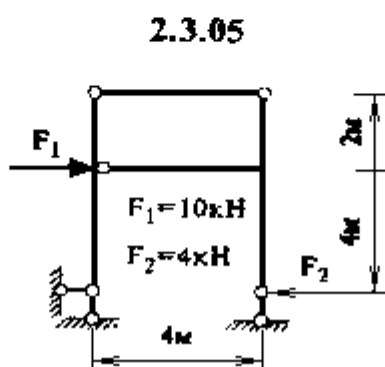
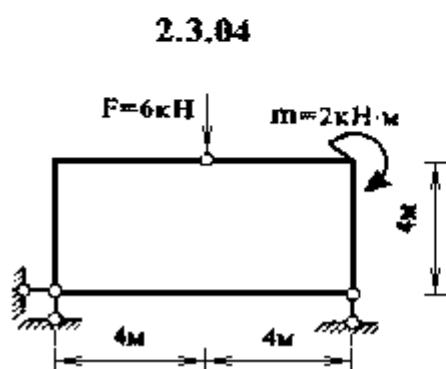
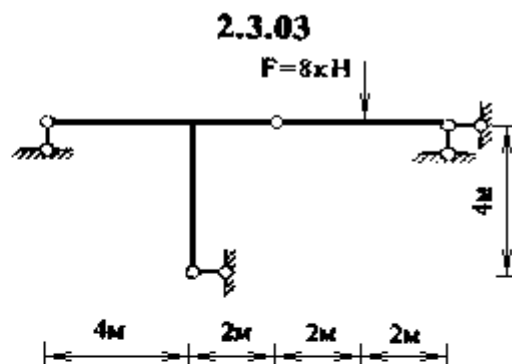
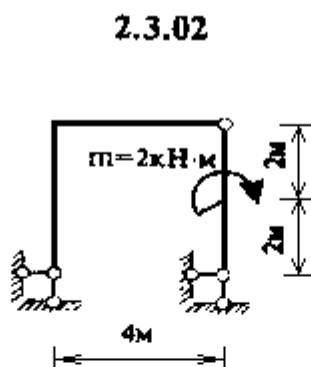
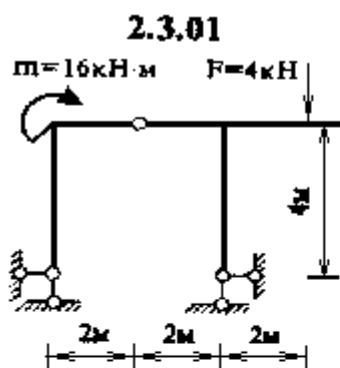
M_A эпюраси нотўғри, чунки C тугуни мувозанатда эмас.

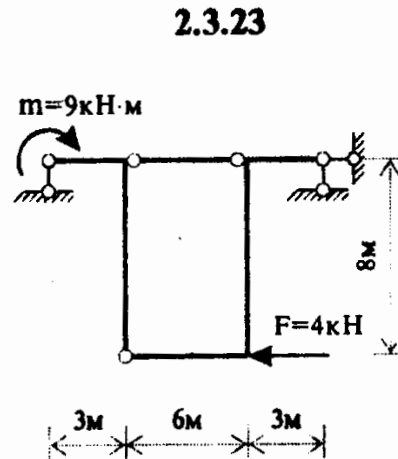
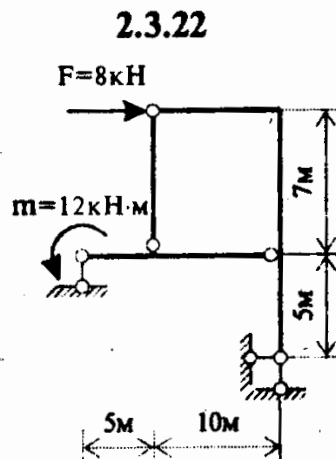
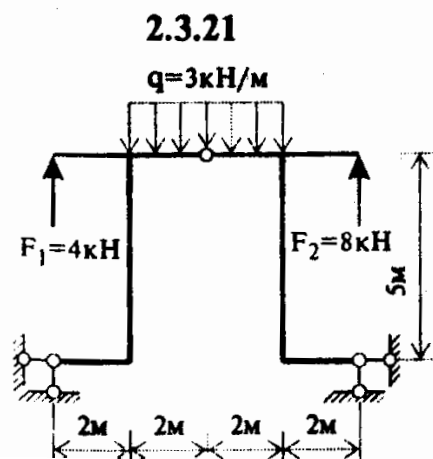
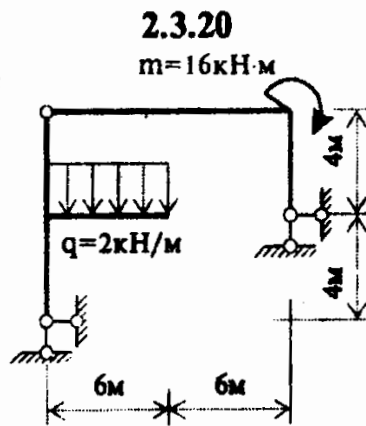
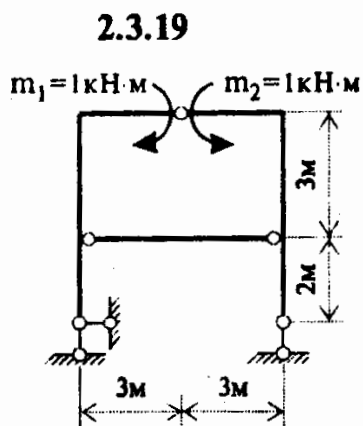
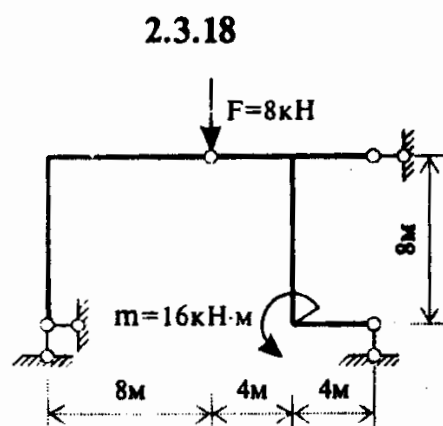
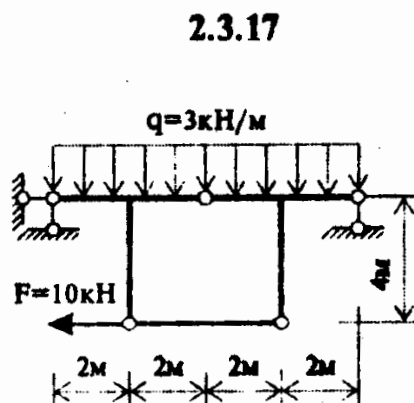
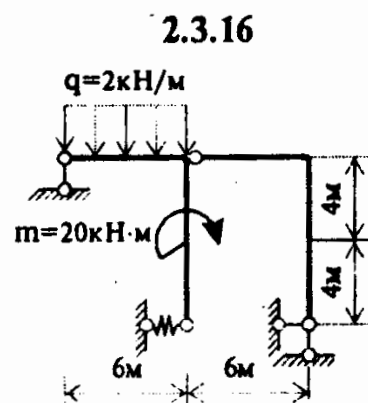
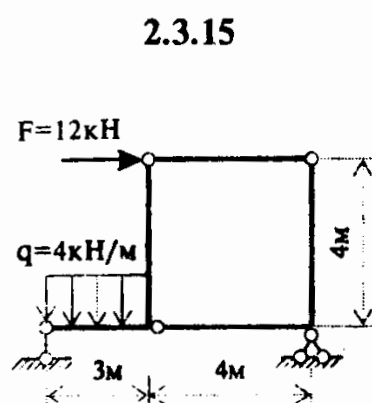
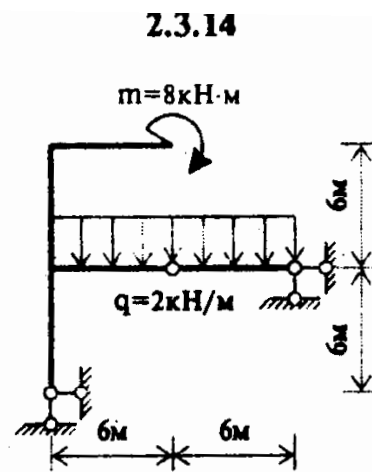
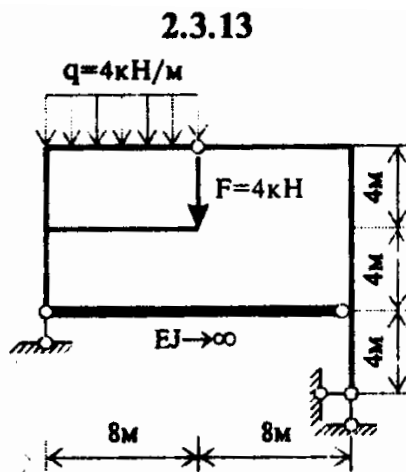
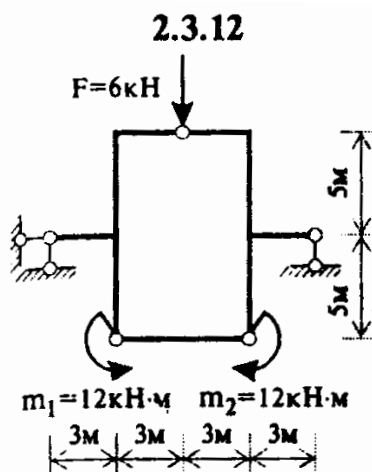
AB стержени ўртасидаги момент ординаталаридан ташқари, M_B ва M_C эпюралари амалда бир хил. Моментнинг ҳақиқий қиймати:

$$M = 5,82/2 + ql^2/8 = 2,91 + 2,25 = 5,16 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

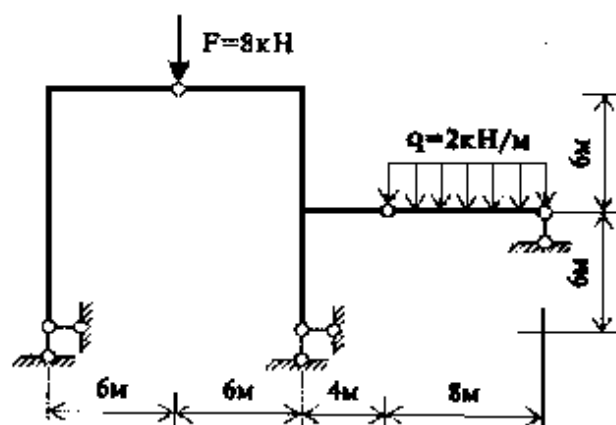
Демак, M_C эпюраси тўғри бўлади.

2.3.01 ... 2.3.39- масалалар. M, Q, N эпюралари курилсин.

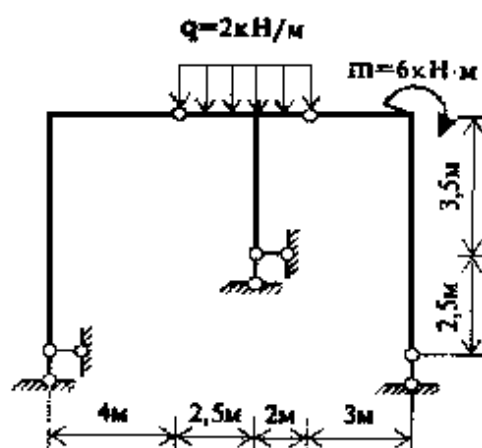




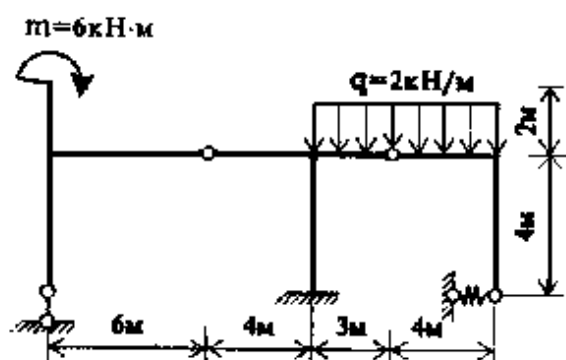
2.3.24



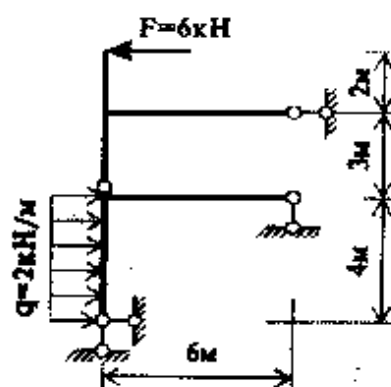
2.3.25



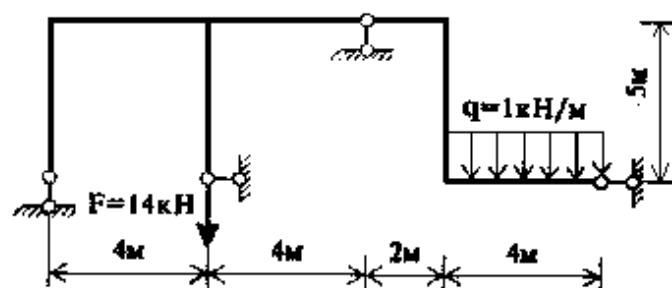
2.3.26



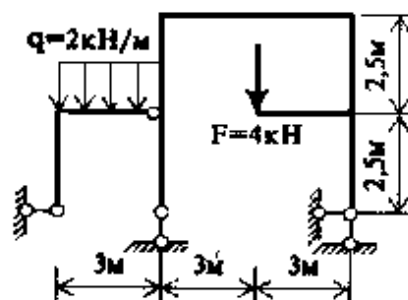
2.3.27



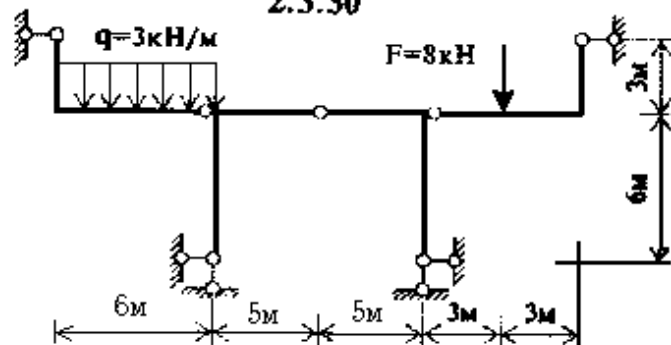
2.3.28



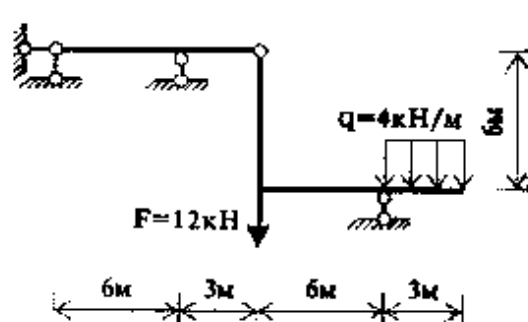
2.3.29



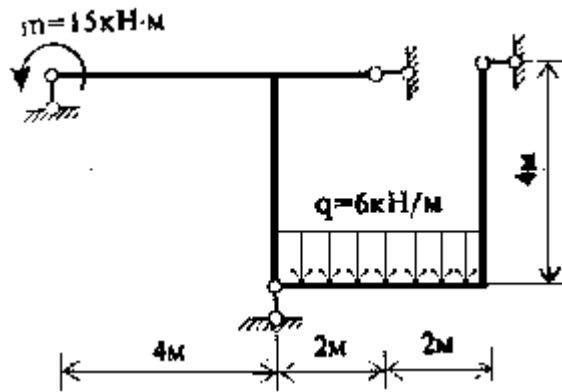
2.3.30



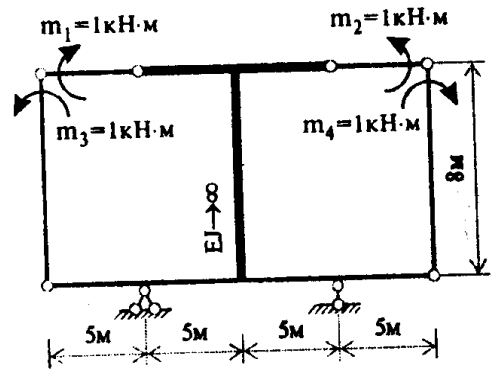
2.3.31



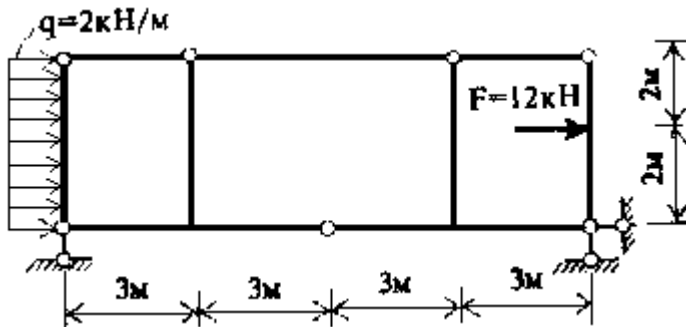
2.3.32



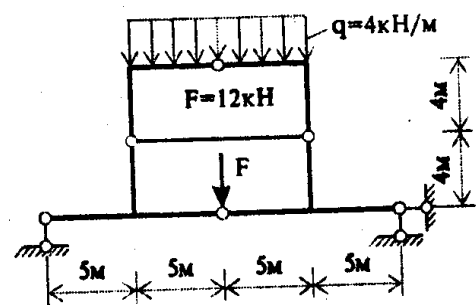
2.3.33



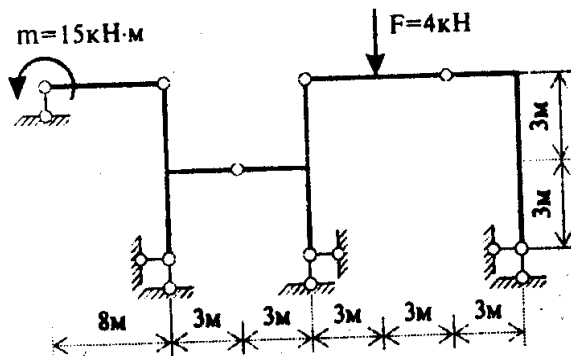
2.3.34



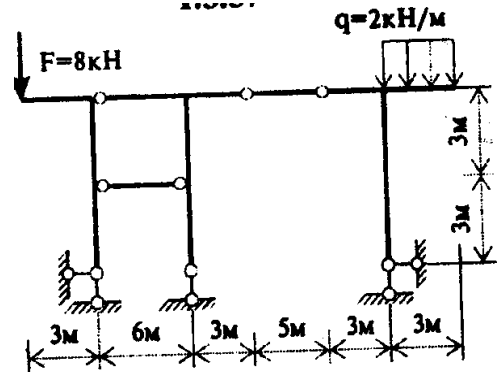
2.3.35



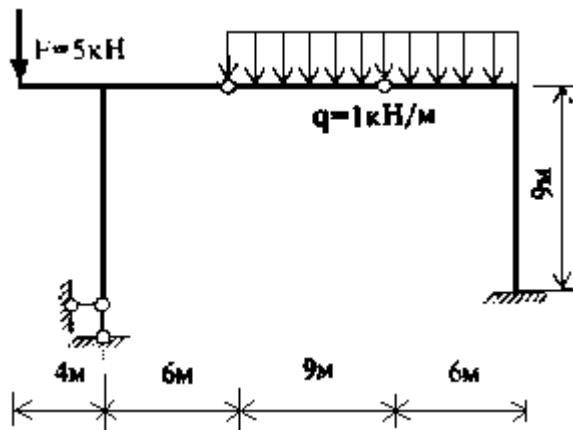
2.3.36



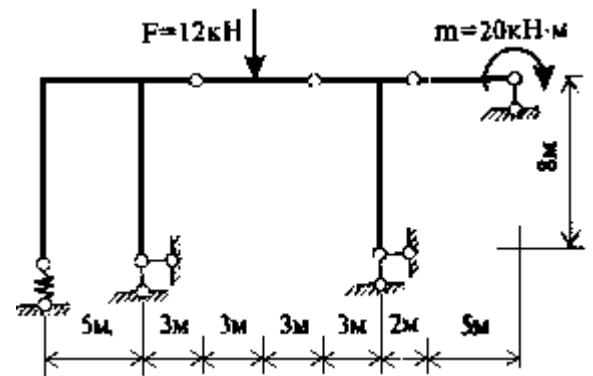
2.3.37



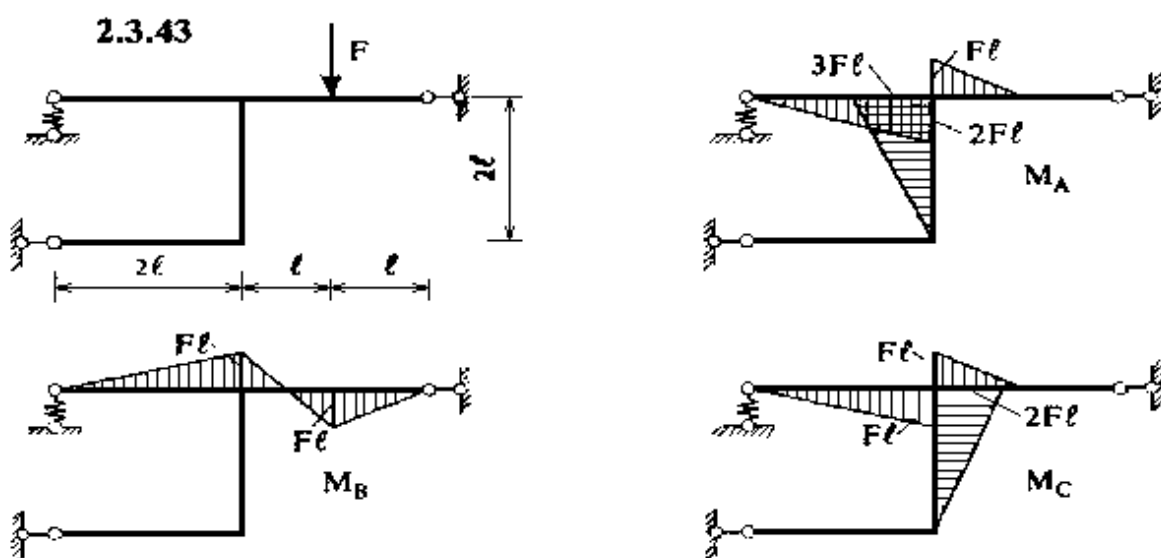
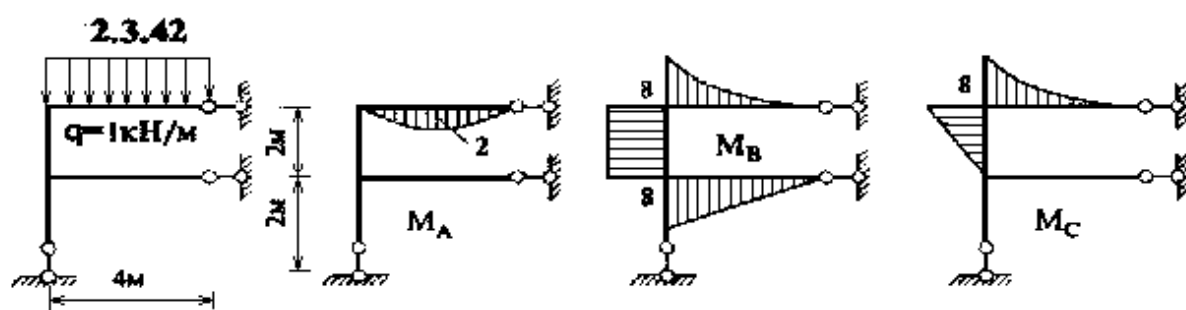
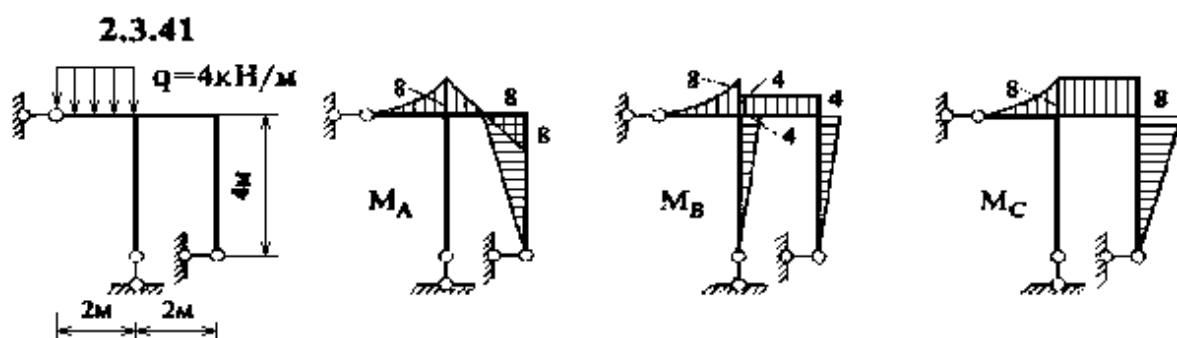
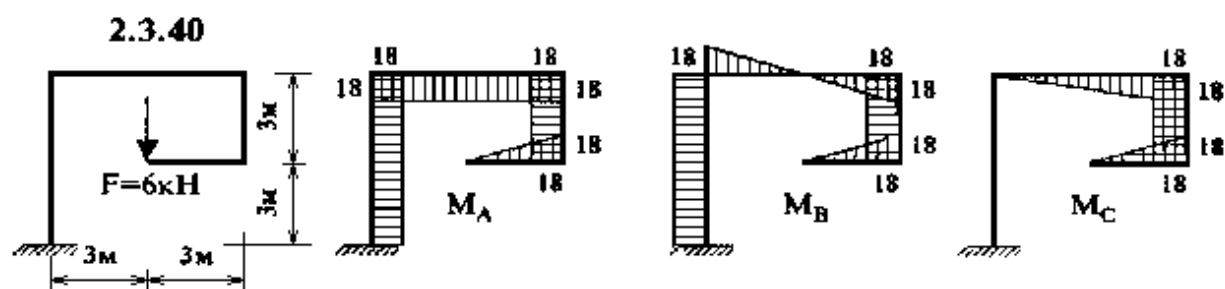
2.3.38



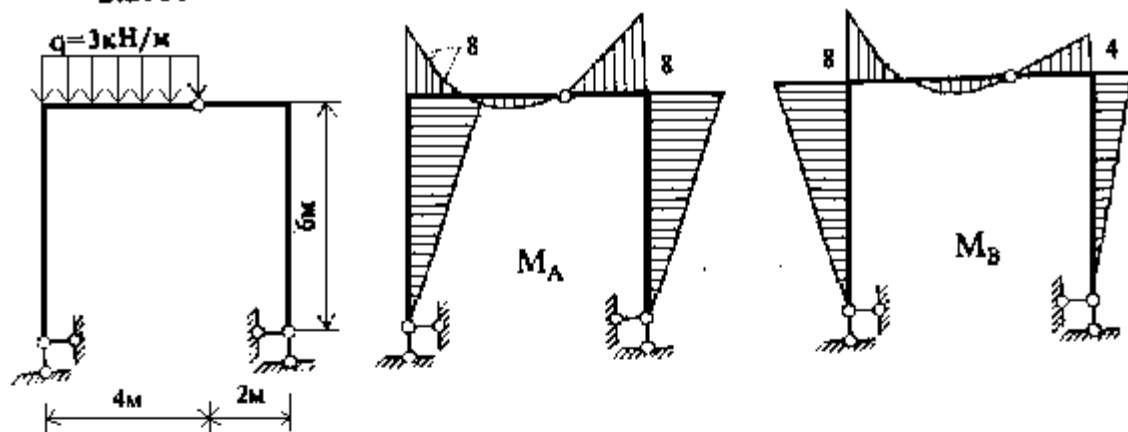
2.3.39



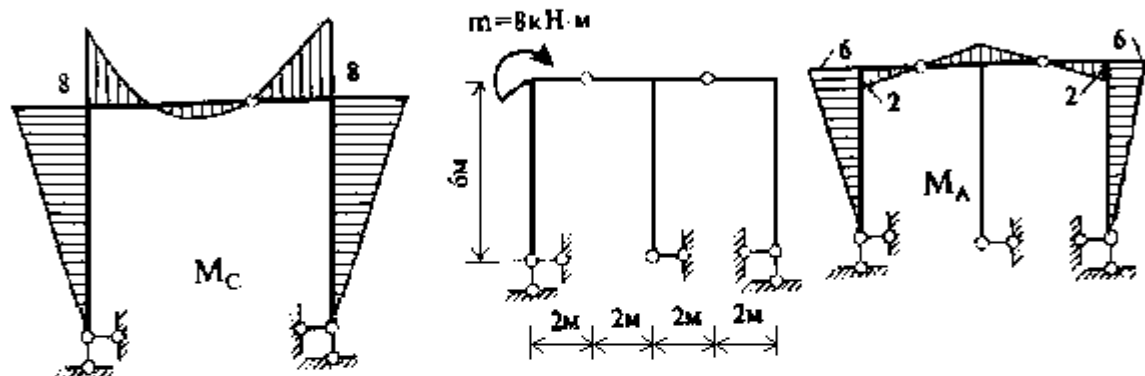
2.3.40 ...2.3.52-масалалар. Ҳисобламасдан учала момент эпюраларидан тўғриси кўрсатилсин ва нима учун қолганлари нотўғрилиги тушунтирилсин.



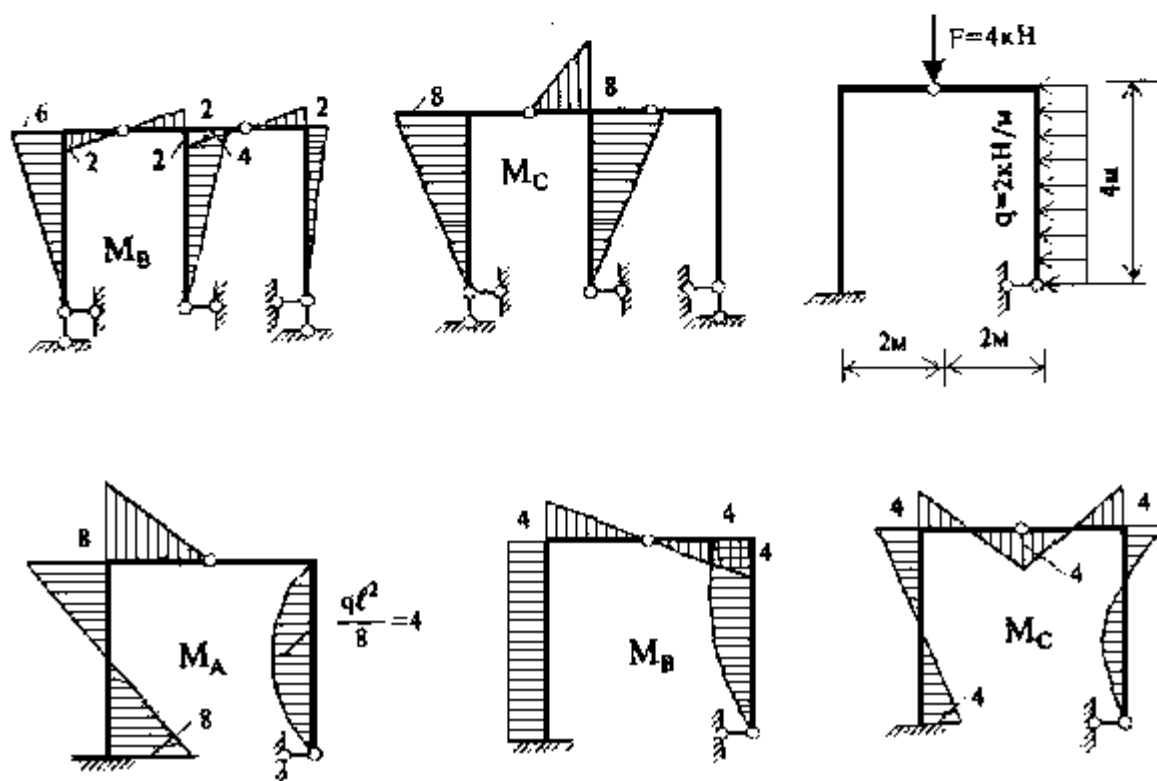
2.3.44



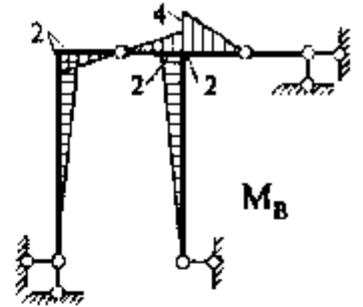
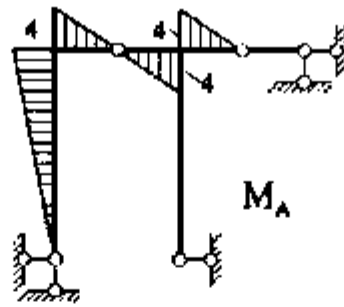
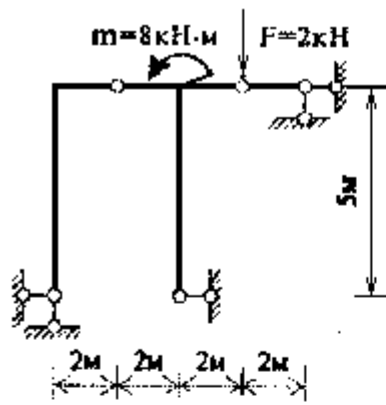
2.3.45



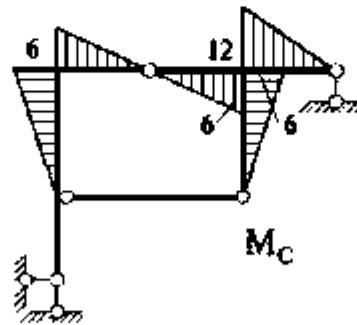
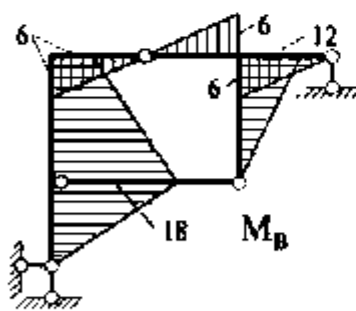
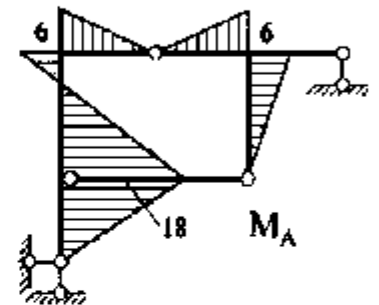
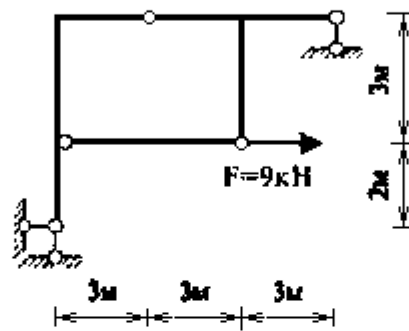
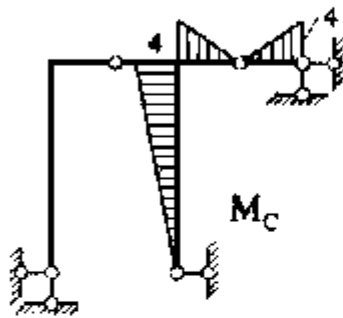
2.3.46



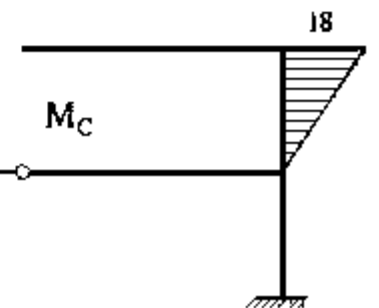
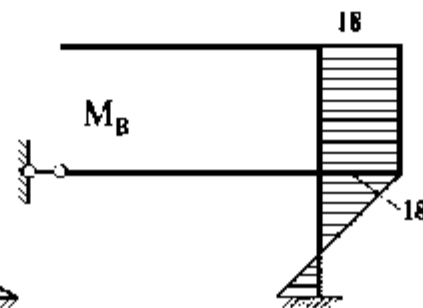
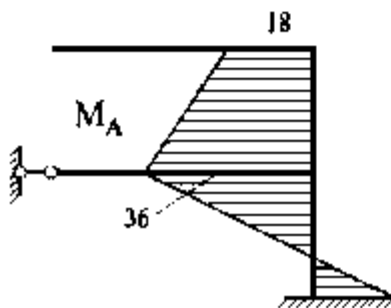
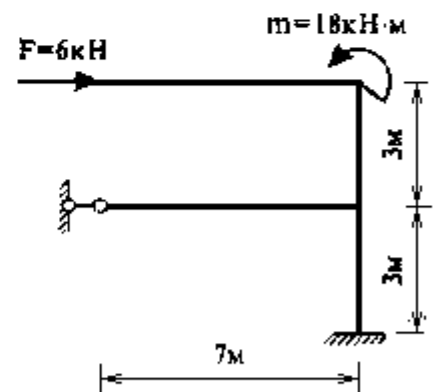
2.3.47



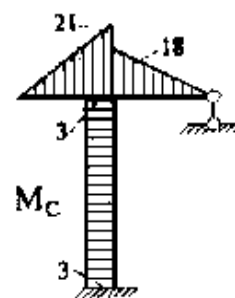
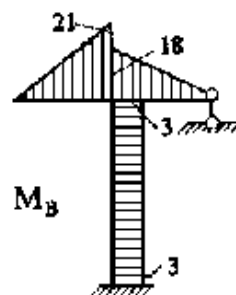
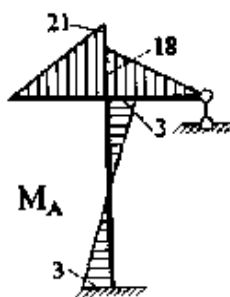
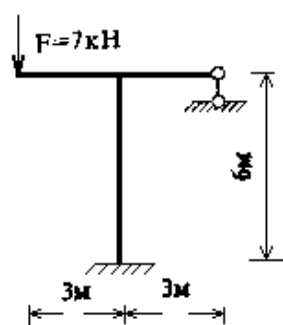
2.3.48



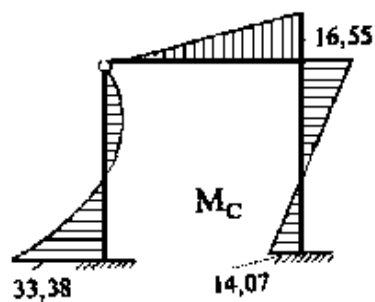
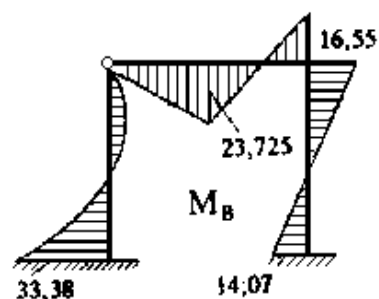
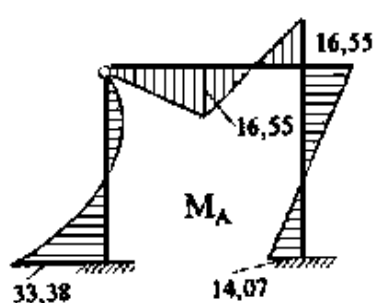
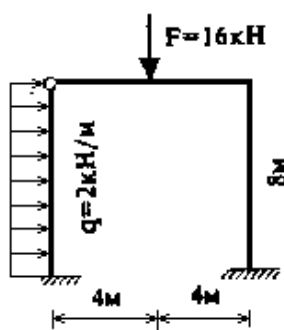
2.3.49



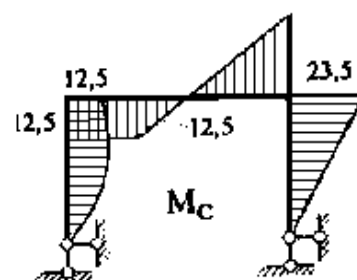
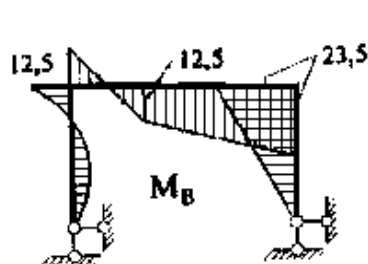
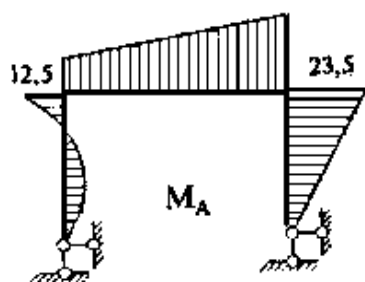
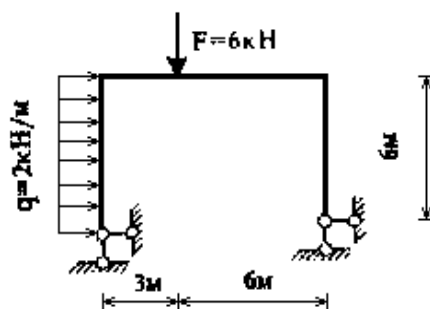
2.3.50



2.3.51



2.3.52



2.4-§. Фермалар ва қўшилган (қурама) системаларда ички зўриқишларни аниқлаш

Ф е р м а – бу геометрик ўзгармас система бўлиб, унинг ҳисоблаш схемаси тугунларда идеал шарнирлар воситасида туташтирилган тўғри стерженлардан иборат.

Шунингдек, ташқи юклар албатта ферманинг тугунларига қўйилган ва унинг стерженларида фақат бўйлама зўриқишлар (бўйлама кучлар) ҳосил қилади деб ҳисобланади. Фермаларнинг юқориги ва пастки контурлари мос ҳолда, бу ферманинг юқориги ва пастки тасмалари дейилади, тасмалар билан ўралган қолган стерженлар эса ферма панжараларини ҳосил қилади.

Панжаранинг вертикал стерженлари устунлар, қиялари – ҳовон, юқориги (пастки) тасмаларнинг ёнма-ён тугунлари орасидаги масофалар эса панеллар дейилади.

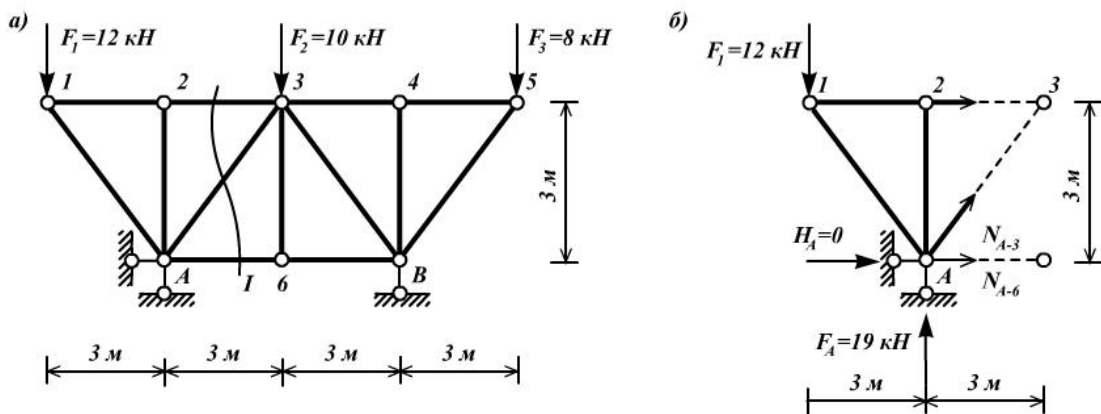
Ферма стерженларининг ички зўриқишлари кесиш усулида аниқланади. Кесим ўтказиш шаклига қараб аналитик ҳисоблар учта асосий усулга ажралади: момент нуқтаси усули, проекция усули ва тугунларни қирқиш усули. Айтилган усуллардан ташқари мураккаброқ фермалар учун фермалар ҳисобининг бошқа усуллари ҳам қўлланилади: ёпиқ кесим усули, биргаликдаги кесимлар усули, стерженларни алмаштириш усули. Статик аниқ фермалар қайси усулда ҳисобланмасин уларнинг ҳисоби таянч реакцияларини аниқлашдан бошланади. Уларни балкасимон фермаларда ҳам худди балкалар ва оддий рамалардагидек, ҳовонли фермаларда эса уч шарнирли рамалардагидек аниқланади.

М о м е н т н у қ т а с и у с у л и қуйидагидан иборат: фермани ҳаёлан икки қисмга шундай қирқиладики, қирқимга тушган зўриқишлари номаълум стерженлар сони учтадан ошмасин. Қирқилган стерженларнинг ўқи паралел бўлмаслиги ва бир нуқтада кесишмаслиги керак. Агар шундай қирқим ўтказишни иложи бўлса, у ҳолда ферманинг бир қисми ташлаб юборилади, қолган қисмига таъсири номаълум ички бўйлама кучлар қўйилади.

Бу кучларни тугундан кетувчи (ташлаб юборилган қисми томонига) чўзилувчи деб ҳисоблаб (мусбат) қирқилган стерженларнинг ўқлари бўйлаб йўналтирилади. Қолган қисми учун барча кучларнинг момент нуқтасига нисбатан моментларининг йиғиндиси кўринишида мувозанат тенгламалари тузилади.

Аниқланаётган стержендан ташқари, кесимга тушган барча стерженларнинг йўналишларини кесишиш нуқтаси **м о м е н т н у қ т а с и** (**Р и т т е р н у қ т а с и**) дейилади.

2.33- Мисол. Консолли - балкасимон ферманинг 2-3, А-6 стерженларидаги бўйлама зўриқишлари аниқлансин (2.4.1,а- расм).



2.4.1-расм

Таянч реакцияларини топамиз:

$$\sum X = 0; \quad H_A = 0;$$

$$\sum M_B = 0; \quad -F_1 \cdot 9 - F_2 \cdot 3 + F_3 \cdot 3 + R_A \cdot 6 = 0, \quad R_A = (12 \cdot 9 + 10 \cdot 3 - 8 \cdot 3) / 6 = 19 \text{ кН};$$

$$\sum M_A = 0; \quad -F_1 \cdot 3 + F_2 \cdot 3 + F_3 \cdot 9 - R_B \cdot 6 = 0, \quad \sum R_B = (-2 \cdot 3 + 10 \cdot 3 + 8 \cdot 9) / 6 = 11 \text{ кН}.$$

$$\text{Текшириш: } \sum Y = 0; \quad 19 + 11 - 12 - 10 - 8 = 30 - 30 = 0.$$

Фермани I-I, кесим билан қирқамиз, ўнг қисмини ташлаб юбориб, унинг қолган чап қисмига таъсирини тугундан кетувчи N_{2-3} , N_{A-3} , N_{A-6} номаълум кучлари билан алмаштирамиз (2.4.1, б- расм).

N_{2-3} зўриқишини аниқлаш учун момент нуқтаси A-3 ва A-6 стерженларининг кесишган жойида, яъни A нуқтасида жойлашган. A момент нуқтасига нисбатан чап қисмидаги барча кучларнинг моментлари йиғиндиси тенгламасини тузамиз.

$$\sum M_A^{\text{чап}} = 0: \quad -F_1 \cdot 3 + N_{2-3} \cdot 3 = 0; \quad N_{2-3} = F_1 = 12 \text{ кН}.$$

N_{2-3} олдидаги «мусбат» ишораси, 2-3 стержени чўзилувчи эканлиги билдиради.

N_{A-6} зўриқишини аниқлаш учун момент нуқтаси 2-3 ва A-3 стерженларининг кесишган жойи, яъни 3-тугунда жойлашган. 3-момент нуқтасига нисбатан чап қисмидаги барча кучларнинг моментлари йиғиндиси кўринишидаги мувозанат тенгламасини тузамиз.

$$\sum M_3^{\text{чап}} = 0: \quad -F_1 \cdot 6 + R_A \cdot 3 - N_{A-6} \cdot 3 = 0; \quad N_{A-6} = (-12 \cdot 6 + 19 \cdot 3) / 3 = -5 \text{ кН}.$$

N_{A-6} нинг «манфий» ишораси, A-6 стерженининг сиқилувчи эканлигини билдиради.

Ҳисоблар, R_B реакциясини аниқлаш шарт эмаслигини кўрсатди.

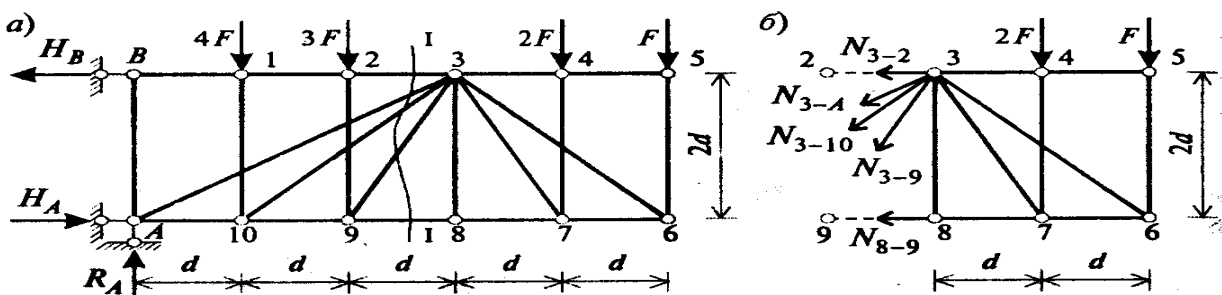
$$\text{Жавоб: } N_{2-3} = 12 \text{ кН}; \quad N_{A-6} = -5 \text{ кН}.$$

Момент нуқталарини аниқлашдан келиб чиқадики, Баъзи хусусий ҳолларда, кесим учтадан ортиқ стерженларни кесганда ҳам бу усулни қўллаш мумкин.

2.34- мисол. Консол ферманинг 8-9 стерженидаги бўйлама зўриқиши аниқлансин (2.4.2, а- расм).

Консол фермаларда таянч реакциялари одатда аниқланмайди. Фермани I-I, кесими билан қирқамиз, чап қисмини унинг таянч боғланишлари билан ташлаб юбориб, унинг қолган унг томонида таъсирини тугунлардан кетувчи номаълум кучлар N_{3-2} , N_{3-A} , N_{3-10} , N_{3-9} , N_{8-9} номаълумлари билан алмаштирамиз (2.4.2, б- расм).

N_{8-9} зўриқишини аниқлаш учун момент нуқтаси 3-2, 3-A, 3-10 ва 3-9 стерженларининг кесишган нуқтаси, яъни 3-туғунда жойлашган. Ўнг қисмидаги барча кучларнинг 3-момент нуқтасига нисбатан моментларининг йиғиндиси кўринишидаги мувозанат тенгламасини тузиб, изланаётган зўриқишни топамиз:



2.4.2-расм

$$\sum M_3^{\text{шнг}} = 0; \quad F \cdot 2d + 2F \cdot d + N_{8-9} \cdot 2d = 0; \quad N_{8-9} = -2F.$$

Жавоб: $N_{8-9} = -2F$.

Проекция усули параллел тасмали фермаларнинг ҳисобларида қўлланилади. Бу ҳолатда учта стержен орқали (агар бунинг имкони бўлса), ўтказилган кесим, юқоридагидек фермани икки қисмга ажратади, улардан бирини ташлаб юборилади ва қолган қисмининг мувозанати қаралади. Параллел тасмали фермаларда ҳовон ва устунлар учун момент нуқталари чексизликда ётади, шунинг учун бу стерженларнинг зўриқишлари ферманинг чап ёки ўнг қисмига қўйилган кучларни ферма тасмаларига перпендекуляр ўқларга проекцияларининг йиғиндисини нолга тенглаш йўли билан аниқланади. Қолган ишлар момент нуқтаси усулидаги каби қайтарилади.

2.35- мисол. Тиргакли ферманинг N_{A-3} , N_{3-7} ва N_{B-C} бўйлама зўриқишлари аниқлансин (2.4.3, а- расм).

Тиргакли ферманинг таянч реакцияларини аниқлаймиз.

$$\sum M_B = 0; \quad V_A \cdot 20 - 9 \cdot 16 - 6 \cdot 8 - 7 \cdot 4 = 0, \quad V_A = 11 \text{ кН};$$

$$\sum M_A = 0; \quad -V_B \cdot 20 + 7 \cdot 16 + 6 \cdot 12 + 9 \cdot 4 = 0, \quad V_B = 11 \text{ кН};$$

$$\sum M_C^{\text{чан}} = 0; \quad 11 \cdot 12 - 9 \cdot 8 - H_A \cdot 6 = 0, \quad H_A = 10 \text{ кН};$$

$$\sum M_C^{\text{унг}} = 0; \quad -11 \cdot 8 + 7 \cdot 4 + H_B \cdot 6 = 0, \quad H_B = 10 \text{ кН}.$$

Текшириш: $\sum Y = 0; \quad 11 - 9 - 6 - 7 + 11 = 22 - 22 = 0$.

N_{A-3} зўриқишини аниқлаш учун I-I кесимини ўтказамиз (2.4.3, а- расмга қаранг), ўнг томонини ташлаб юборамиз (2.4.3, б- расм) ва чап қисмининг мувозанат тенгламасини ёзамиз:

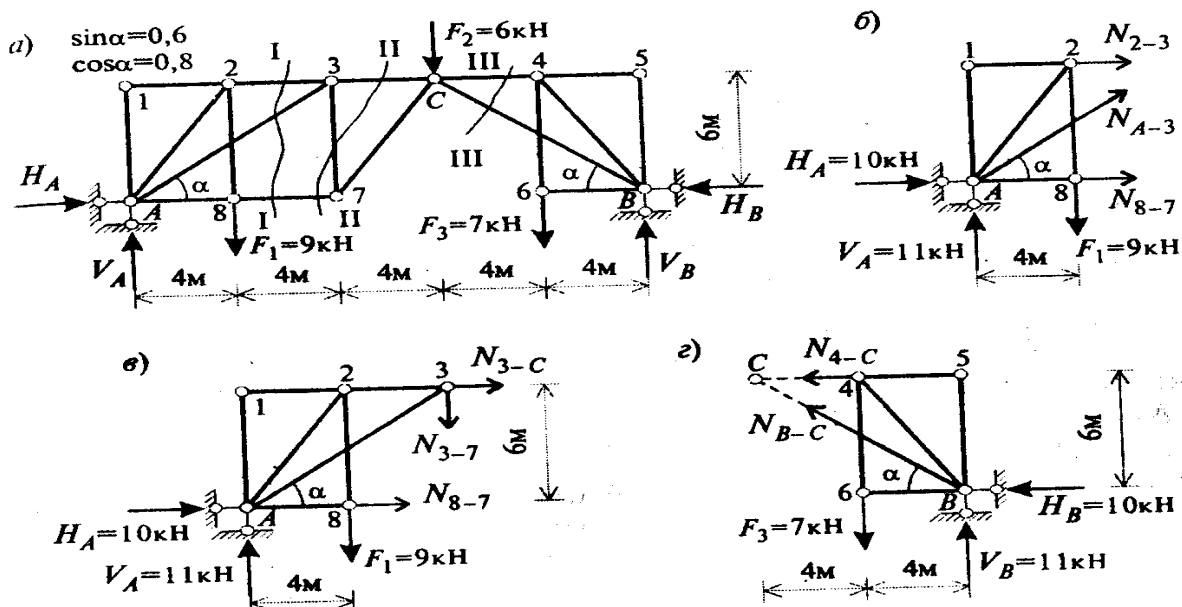
$$\sum Y^{\text{чан}} = 0; \quad V_A - F_1 + N_{A-3} \cdot \sin \alpha = 0; \quad N_{A-3} = (9 - 11) / 0,6 = -3,333 \text{ кН}.$$

N_{3-7} зўриқишини аниқлаш учун II-II кесим ўтказамиз (2.4.3, а- расмга қаранг), ўнг томонини ташлаб юборамиз ва чап қисмидаги барча кучларнинг Y ўқиға проекцияларининг йиғиндиси кўринишидаги мувозанат тенгламасини ёзамиз (2.4.3, в- расм):

$$\sum Y^{\text{чан}} = 0; \quad V_A - F_1 - N_{3-7} = 0; \quad N_{3-7} = 11 - 9 = 2 \text{ кН}.$$

N_{B-C} зўриқишини аниқлаш учун III-III кесими ўтказамиз (2.4.3, а- расмга қаранг), чап қисминини ташлаб юборамиз ва ўнг қисмидаги барча

кучларнинг у ўқиға проекцияларнинг йиғиндиси кўринишидаги мувозанат тенгласини ёзамиз (2.4.3, г- расмга қаранг):



2.4.3-расм

$$\sum Y_{уч} = 0; N_{B-C} \sin \alpha - F_3 + V_B = 0; N_{B-C} = (7 - 11) / 0,6 = -6,667 \text{ кН.}$$

Жавоб: $N_{A-3} = -3,333 \text{ кН}; N_{3-7} = 2 \text{ кН}; N_{B-C} = -6,667 \text{ кН.}$

Т у г у н к е с и ш у с у л и проекция усулининг хусусий ҳоли ҳисобланади, бунда ҳар бир қирқим ферманинг тугунларини кетма-кет кесиши орқали проекция усулидан фарқ қилади. Бундай қирқим ўтказилганидан кейин ферма қолган қисми ташлаб юборилади, унинг таъсири эса тугундан кетувчи кесилган стерженларнинг ўқи бўйлаб йўналган номаълум кучлар билан алмаштирилади. Тугунларни кесишни икки стерженли тугундан бошлаш керак. Улардаги зўриқишлар тугунларда учрашувчи кучларни, x ва y ўқларига ($\sum X = 0$, $\sum Y = 0$) ёки зўриқиши аниқланувчи стерженга тик ўқларга, проекцияларининг йиғиндиси нолга тенглик шартидан топилади. Тугундан-тугунга ўтиб, ферманинг барча стерженларидаги зўриқишлар ҳисобланади.

Берилган юкланишлардан зўриқишлари нолга тенг бўлган стерженлар н о л и н ч и стерженлар дейилади.

Тугун кесиш усулидан келиб чиқадиган ва эслаб қолиш керак бўлган, му в о з а н а т л а р и н и н г хусусий ҳоллари :

1. Юкланмаган икки стерженли тугун (2.4.4, а- расм).

Қачон иккала стержен нолинчи бўлса ($N_1 = 0$; $N_2 = 0$), бундай тугун мувозанатда бўлиши мумкин.

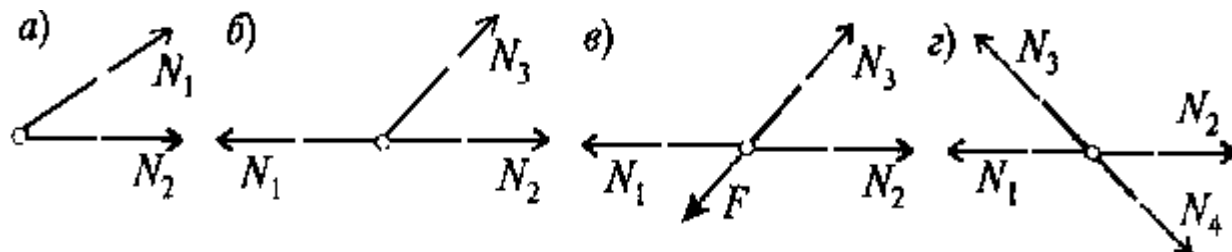
2. Икки стержени бир ўқда ётувчи юкланмаган уч стерженли тугун (2.4.4, б- расм). Тугундаги учинчи стержен «якка» стержен дейилади ва унинг зўриқиши нолга тенг бўлади ($N_3 = 0$). Бир чизикда йўналган стерженларнинг зўриқишлари эса ўзаро тенг ва қарама-қарши йўналган ($N_1 = N_2$).

3. Икки стержен ўқи бир тўғри чизикда ётган, якка стержен ўқи бўйлаб F кучи қўйилган, уч стерженли тугун (2.4.4, в- расм).

Бу холда $N_3=F$, бир тўғри чизик бўйлаб йўналган стерженларнинг зўриқишлари, юқоридаги ҳолатдаги каби ўзаро тенг ва қарама-қарши йўналган ($N_1 = N_2$).

4. Стерженлар ўқи икки тўғри чизик бўйлаб йўналган юкланмаган тўрт стерженли тугун (2.4.4, г- расм).

Бир тўғри чизик бўйлаб йўналган стерженларнинг зўриқишлари ўзаро тенг ва қарама-қарши йўналган ($N_1 = N_2$ ва $N_3 = N_4$).

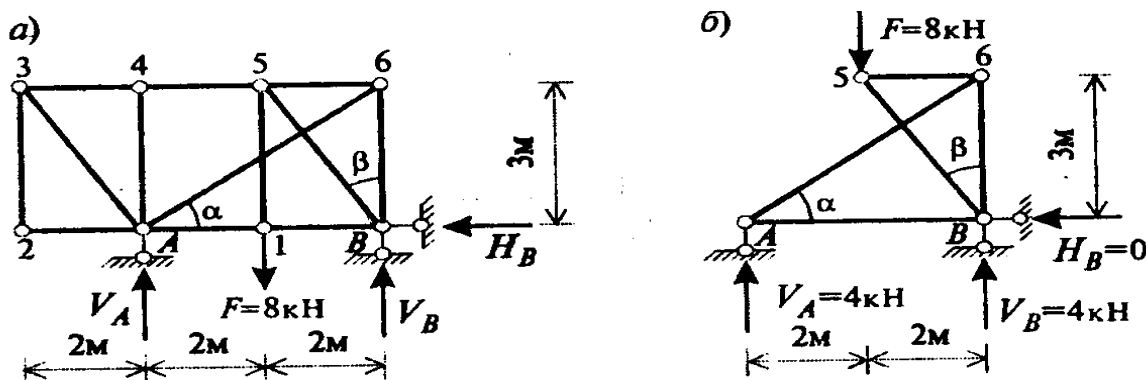


2.4.4-расм

2.36- мисол. 2.4.5, а- расмда тасвирланган ферма стерженларининг зўриқишлари аниқлансин.

Тугунлар мувозанатининг хусусий ҳолатлари асосида берилган ферма учун нолинчи стерженларни осон аниқлаш мумкин. Шундай, юкланмаган икки стерженли 2-тугунда иккала стержен 2-А ва 2-3 нолинчи бўлади (1-хол), яъни $N_{2-A}=N_{2-3}=0$, ва бу тугунни стерженлари билан ҳаёлда олиб ташлаймиз. Унда 3-тугун ҳам икки стерженли юкланмаган тугун бўлиб қолади ва 3-4 ва 3-А стерженларидаги зўриқишлар нолинчи бўлади, яъни $N_{3-4}=N_{3-A}=0$.

Ҳаёлан 3-тугунни олиб ташлаб, 4-тугунга ўтамыз. Юқоридагидек мулоҳазалардан $N_{4-5}=N_{4-A}=0$ га келамиз. Ниҳоят, 1-тугунга тугунлар мувозанатининг 3-ҳолини қўллаб $N_{1-5}=F=8$ кН, $N_{1-A}=N_{1-B}$ ни оламиз. Ҳисобларни осонлаштириш учун зўриқиши маълум 1-5 стерженини олиб ташлаб, $F=8$ кН кучни юқorigи 5-тугунга кўчириш мумкин.



2.4.5-расм

Нолинчи стерженлари ва 1-5 стержени олиб ташлангандан сўнгги ҳисоблашга мўлжалланган осонлаштирилган ферма 2.4.5, б- расмда кўрсатилган.

А, 5, 6 тугунларини кетма-кет кесиб, ферманинг ҳамма стерженларидаги зўриқишларни топамиз.

A тугун (2.4.6,а-расм):

$$\Sigma Y=0; V_A+N_{A6} \cdot \sin \alpha = 0;$$

$$N_{A-6}=-V_A/\sin \alpha =-4/0,6=-6,6679 \text{ кН}$$

$$\Sigma X=0; N_{A-B}+N_{A-6} \cos \alpha = 0;$$

$$N_{A-B}=-(-6,667) \cdot 0,8 = 5,333 \text{ кН};$$

5 – тугун (2.4.6, б- расм):

$$\Sigma Y=0; -F-N_{5-B} \cos \beta = 0;$$

$$N_{5-B}=-F/\cos \beta =-8/0,832=-9,615 \text{ кН};$$

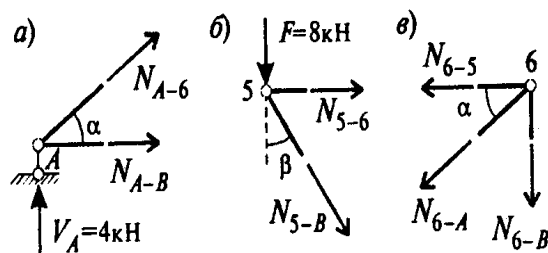
$$\Sigma X=0; N_{5-6}+N_{5-B} \sin \beta = 0;$$

$$N_{5-6}=-(-9,615) \cdot 0,5547 = 5,333 \text{ кН}.$$

6- тугун (2.4.6, в- расм) :

$$\Sigma Y=0; -N_{6-A} \sin \alpha -N_{6-B}=0; N_{6-B}= -(-6,667) \cdot 0,6=4 \text{ кН}.$$

Жавоб: $N_{1-5}=8\text{кН}$; $N_{1-A}=N_{1-B}=5,333\text{кН}$; $N_{A-6}=-6,667\text{кН}$; $N_{5-6} = 5,333 \text{ кН}$;
 $N_{5-B} = -9,615 \text{ кН}$; $N_{6-B} = 4 \text{ кН}$. Қолган стерженларда зўриқишлар нолга тенг.



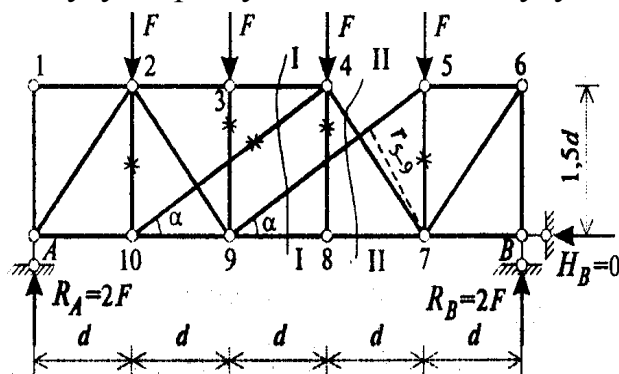
$$\sin \alpha=0,6; \quad \sin \beta=2/\sqrt{13}=0,5547;$$

$$\cos \alpha=0,8; \quad \cos \beta=3/\sqrt{13}=0,832.$$

2.4.6 – расм

2.37- мисол. 2.4.7- расмда тасвирланган ферма белгиланган элементларининг бўйлама зўриқишлари аниқлансин.

Тугунлар мувозанатининг хусусий ҳолларидан $N_{8-4}=0$, $N_{3-9}=-F$ келиб чиқади.



2.4.7-расм

N_{4-10} зўриқишни аниқлаш учун I-I кесимини ўтказамиз, ўнг томонини ташлаб юбориб, қолган чап қисмининг мувозанатини қараймиз. Юқорида келтирилган усулларнинг бирортасидан ҳам, аниқланадиган зўриқишни иккита номаълуми бўлган битта тенгламадан дархол топиш имконияти бўлмайди. Бундай

ҳолларда қуйидагича иш тутилади. II-II, ёрдамчи кесим ўтказамиз, чап қисминини ташлаб юборамиз ва ўнг қисмидаги ҳамма кучларни 7-момент нуқтасига нисбатан моментларининг йиғиндиси шаклидаги мувозанат тенгламасини тузамиз (2.4.8,а- расм).

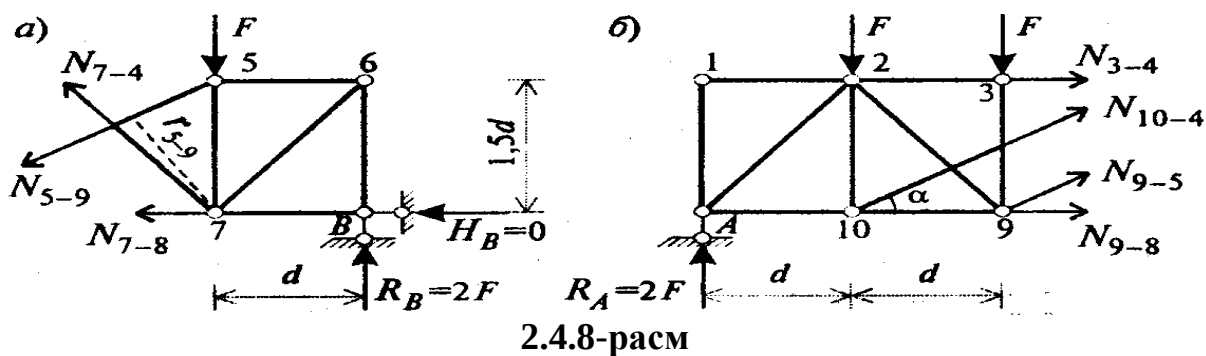
$\Sigma M_7^{чан}=0$; $-2Fd-N_{5-9} \cdot r_{5-9}=0$; $N_{5-9}=-2Fd/r_{5-9}=-2Fd/(2d \sin \alpha)=-F/\sin \alpha=-1.667F$, бу ерда r_{5-9} - N_{5-9} кучининг елкаси, ва $\sin \alpha = 0,6$.

Шундан сўнг I-I, кесимига қайтиб, барча чап қисмидаги кучларнинг N_{5-9} нинг топилган қийматини ҳисобга олган ҳолда у ўқига проекцияларининг йиғиндиси кўринишидаги мувозанат тенгламасини тузамиз (2.4.8, б- расм).

$$\Sigma Y^{чан}=0; 2F-F-F+N_{10-4} \cdot \sin \alpha +N_{9-5} \cdot \sin \alpha = 0 ;$$

$$N_{10-4}=-N_{9-5}=-(-1.667F)=1.667F.$$

10-2 ва 5-7 стерженларидаги зўриқишларни 10 ва 5 тугунларни кесиш усулида аниқлаймиз (2.4.9- расм).



2.4.8-расм

10-тугун (2.4.9, а- расм):

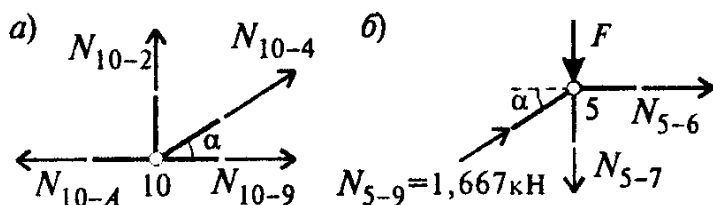
$$\Sigma Y = 0; N_{10-2} + N_{10-A} \cdot \sin \alpha = 0; \quad N_{10-2} = -1,667F \cdot 0,6 = -F.$$

5- тугун (2.4.9, б- расм):

$$\Sigma Y = 0; -F - N_{5-7} + N_{5-9} \cdot \sin \alpha = 0; N_{5-7} = 1,667F \cdot 0,6 - F = F - F = 0.$$

Олдин топилган N_{5-9} бўйлама кучи манфий бўлганлиги сабабли, 2.4.9, б-расмда у тугунга йўналувчи бўлиб кўрсатилган.

Жавоб : $N_{8-4} = 0; N_{3-9} = -F; N_{10-4} = 1,667F; N_{10-2} = -F; N_{5-7} = 0.$



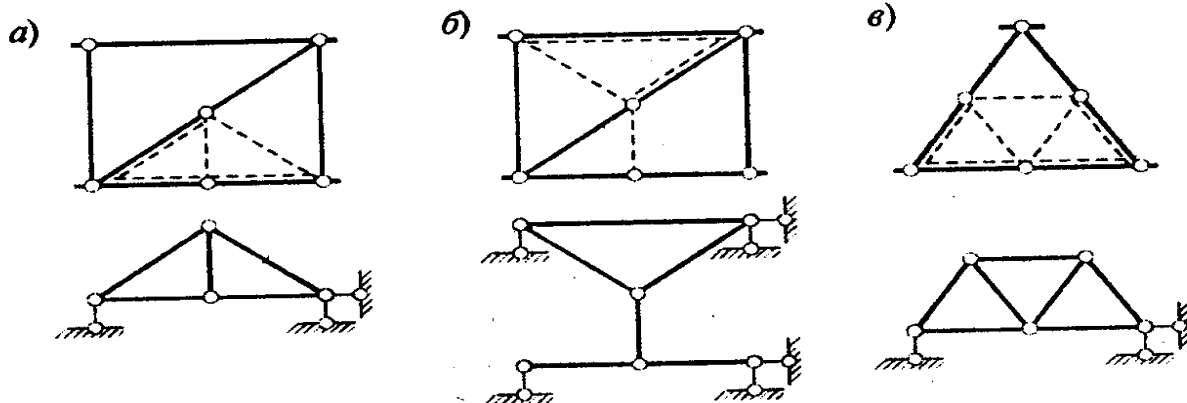
2.4.9-расм

Курилишда шпренгелли фермалар ҳам кенг қўлланилади. Шпренгел курилмаларининг (қўшимча ферма-шпренгел) асосий вазифаси, юкланган тасма панелларининг узунлигини камайтириш ва тугундан

ташқари юкларни, асосий ферма элементларига узатишдан иборат. Қўшимча фермача-шпренгеллар, асосий ферма тугунларига таянади ва фақат қўшимча тугунларга қўйилган, маҳаллий юкларга ишлайди.

2.4.10- расмда шпренгелларнинг асосий турлари кўрсатилган: 2.4.10,а-расм – бир қаватли (бир ярусли), 2.4.10, б- расм –икки қаватли (икки ярусли), 2.4.10, в- расм – учбурчак панжарали.

Ишлаш характерига кўра, шпренгелли ферма стерженларини учта категорияга бўлиш мумкин:



2.4.10-расм

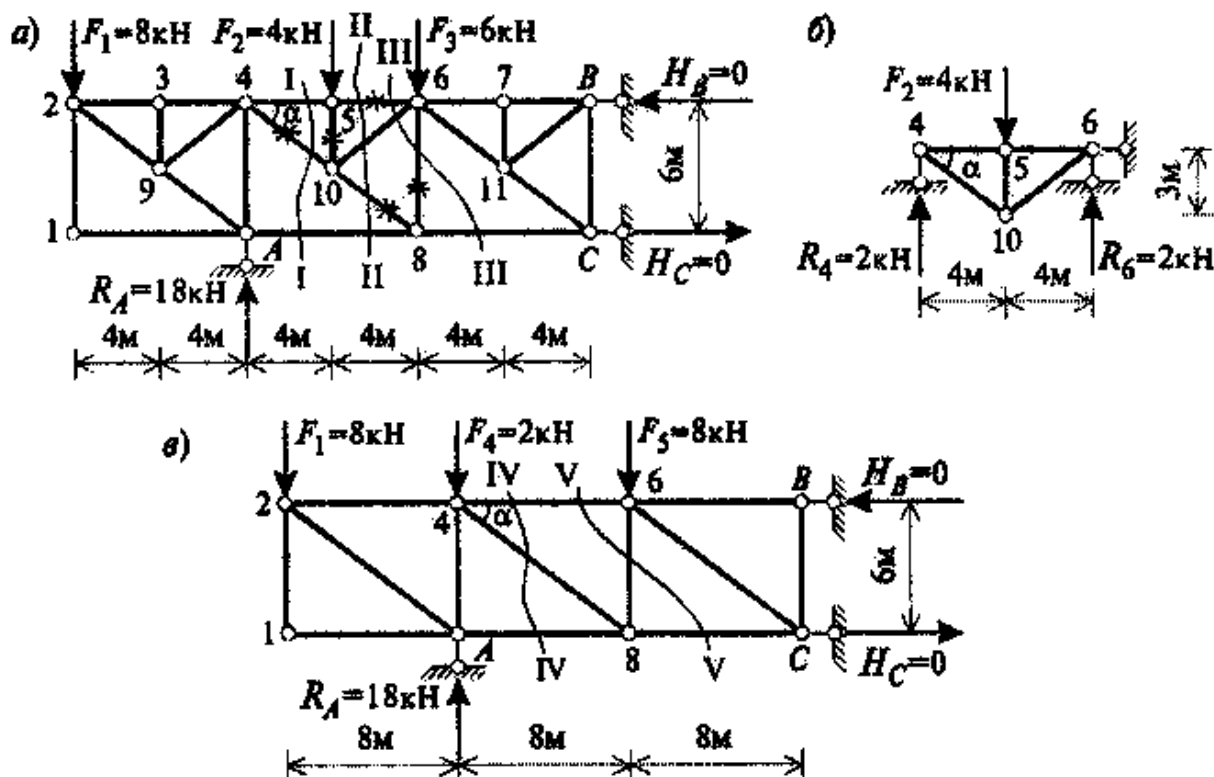
1. Фақат асосий фермага тегишли стерженлар (2.4.10- расмда улар узлуксиз чизиклар билан кўрсатилган). Шундай стерженлар зўриқишларига шпренгеллар таъсир кўрсатмайди. Олдиндан ёрдамчи тугунлардаги маҳаллий юкни иккита қўшни асосий тугунларга кўчириб, ҳаёлан шпренгелларни олиб ташлаш мумкин.

2. Фақат шпренгелга тегишли стерженлар (2.4.10- расмда улар пунктир чизиклар билан кўрсатилган). Уларнинг зўриқишлари, ёрдамчи тугунларга қўйилган фақат маҳаллий юк таъсиридан, шпренгел-фермачанинг ҳисобидан аниқланади.

3. Бир вақтда ҳам асосий фермага, ҳам шпренгелга тегишли стерженлар (2.4.10- расмда улар иккита чизик узлуксиз ва пунктир билан кўрсатилган). Бундай стерженлардаги зўриқишлар асосий ферма ва шпренгел элементларида ҳосил бўлган зўриқишларнинг йиғиндисидан топилади.

Шпренгелли ферманинг статик ҳисобларида юқорида келтирилган стерженларни учта категорияга шартли бўлинишлари баъзи ҳолатларда эътиборга олинмаслиги мумкин.

2.38- мисол. 2.4.11а- расмда кўрсатилган шпренгелли ферманинг белгиланган элементларидаги бўйлама зўриқишлар аниқлансин.



2.4.11-расм

Дастлаб, 2.4.11, а- расмда тавсия этилган ферманинг геометриясидан кейинчалик бизга керак бўладиган α бурчак тригонометрик функцияларининг қийматларини топамиз:

$$\sin \alpha = 6/10 = 0,6; \cos \alpha = 8/10 = 0,8; \sin 2\alpha = 2\sin \alpha \cdot \cos \alpha = 0,96.$$

Масалани иккита усулда ечамиз.

Биринчи усулда, берилган фермани шпренгелли эмас, оддий деб ҳисоблаймиз. Тугунлар мувозанатининг хусусий ҳолларидан $N_{5-10} = -F_2 = -4 \text{ kN}$

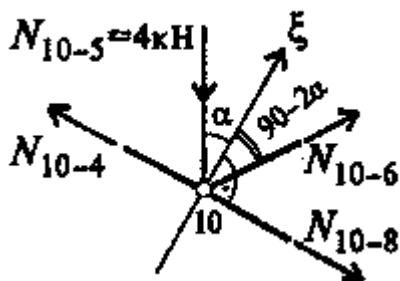
ва $N_{5-6} = N_{4-5}$ лар келиб чиқади. N_{4-5} ва N_{4-10} зўриқишларини топиш учун I-I кесимини ўтказамиз (2.4.11,а-расмга қаранг), ўнг қисмини ташлаб юборамиз ва кесилган стерженларнинг зўриқишларини тугундан кетувчи қилиб йўналтириб, қолган чап қисми учун мувозанат шартини ёзамиз.

$$\sum Y^{чан} = 0; -F_1 + R_A - N_{4-10} \cdot \sin \alpha = 0;$$

$$N_{4-10} = (18 - 8) / 0,6 = 16,667 \text{ кН};$$

$$\sum M_8^{чан} = 0; -F_1 \cdot 16 + R_A \cdot 8 + N_{4-5} \cdot 6 = 0;$$

$$N_{4-5} = (8 \cdot 16 - 18 \cdot 8) / 6 = -2,667 \text{ кН}.$$



2.4.12-расм

8-10 ва 6-8 стерженларидаги зўриқишларни топиш учун, дастлаб бизга керак бўлмаган 6-10 стерженидаги зўриқишни аниқлаш зарур бўлади. Бунинг учун 10-тугунни кесамиз ва тугунда учрашувчи барча кучларни, топилган $N_{10-5} = -4 \text{ кН}$ зўриқишни ҳисобга олган ҳолда, 10-4 ва 10-8 стерженларига перпендикуляр ўққа

проекцияларини оламиз (2.4.12- расм).

$$\sum \zeta = 0; -N_{10-5} \cdot \cos \alpha + N_{10-6} \cdot \cos (90 - \alpha) = 0;$$

$$-4 \cdot 0,8 + N_{10-6} \cdot \sin 2\alpha = 0, \text{ бундан } N_{10-6} = 3,2 / 0,96 = 3,333 \text{ кН}.$$

N_{10-6} зўриқиши топилгандан сўнг, 8-10 ва 6-8 стерженларидаги зўриқишларни ҳам аниқлаш мумкин. Бунинг учун, кетма-кет II-II ва III-III (кесимларини ўтказиб 2.4.11,а-расмга қаранг) ва ҳар сафар чап қисмини ташлаб юбориб, топамиз:

$$\text{II-II кесим: } \sum Y^{унг} = 0; N_{8-10} \cdot \sin \alpha - N_{6-10} \cdot \sin \alpha - F_3 = 0,$$

$$N_{8-10} = (F_3 + N_{6-10} \cdot \sin \alpha) / \sin \alpha = (6 + 3,333 \cdot 0,6) / 0,6 = 13,333 \text{ кН};$$

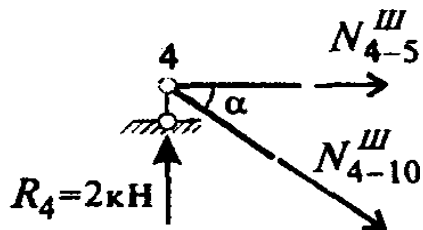
$$\text{III-III кесим: } \sum Y^{унг} = 0; -N_{6-8} - N_{6-10} \cdot \sin \alpha - F_3 = 0,$$

$$N_{6-8} = (-F_3 - N_{6-10} \cdot \sin \alpha) = (-6 - 3,333 \cdot 0,6) = -8 \text{ кН}.$$

Иккинчи усулда берилган фермани шпренгелли ферма сифатида ҳисоблаймиз.

Ажратиш усулини қўллаб, шпренгелли фермани икки тузилма йиғиндиси кўринишида ифодалаймиз. Улардан бири, 5- қўшимча тугунга қўйилган $F_2 = 4 \text{ кН}$ юки билан юкланган, унинг таъсиридан 4 ва 6-тугунларида $R_4 = R_6 = 2 \text{ кН}$ таянч реакциялари ҳосил бўлувчи, шпренгел фермача ҳисобланади (2.4.11, б- расм). Қўшимча тугунларга (махаллий) юк қўйилмаган бошқа икки шпренгел ишламаганлиги сабабли, уларни олиб ташлаш мумкин.

Бошқа иккинчи тузилма асосий ферма бўлиб, у унинг асосий тугунларига бевосита таъсир қилувчи юкларга ҳамда тескари йўналишда олинган ва 4,6- тугунларга қўйилган шпренгел-фермача таянч реакциялари $R_4 = R_6 = 2 \text{ кН}$ сифатида қабул қилинган қўшимча юкларга, яъни $F_4 = R_4 = 2 \text{ кН}$ ва $F_5 = F_3 + R_6 = 6 + 2 = 8 \text{ кН}$ га ҳисобланади (2.4.11, в- расм). Худди биринчи усулдагидек, $N_{5-10} = -F_2 = -4 \text{ кН}$ ва $N_{5-6} = N_{4-5}$.



2.4.13-расм

5-10 стержени 2- категория стерженларига тегишли.

4-5, 5-6 ва 4-10 стерженлари 3-категория стерженларига тегишли, уларнинг зўриқишлари шпренгел (2.4.11,б- расмга қаранг) ва асосий фермада (2.4.11,в- расм) ҳосил бўлган зўриқишларнинг алгебраик йиғиндиси йўли

билан аниқланади.

Шпренгелдаги зўриқишни 4- тугунни қирқиб аниқлаймиз (2.4.13-расм).

$$\sum Y = 0; R_4 - N_{4-10}^{III} \cdot \sin \alpha = 0; N_{4-10}^{III} = R_4 / \sin \alpha = 2/0,6 = 3,333 \text{ кН};$$

$$\sum X = 0; N_{4-5}^{III} + N_{4-10}^{III} \cdot \cos \alpha = 0; N_{4-5}^{III} = -N_{4-10}^{III} \cdot \cos \alpha = -3,333 \cdot 0,8 = -2,667 \text{ кН}.$$

Худди шу зўриқишларни асосий ферма стерженларида аниқлаш учун IV-IV кесим ўтказамиз, чап қисмини ташлаб юборамиз, кесилган стерженлардаги зўриқишларни тугундан кетувчи қилиб йўналтириб (ташлаб юборилган томонга) ўнг томони учун мувозанат тенгламасини ёзамиз (2.4.11,в- расмга қаранг).

$$\sum Y^{yuz} = 0; N_{8-4}^{\alpha} \sin \alpha - F_5 = 0, N_{8-4}^{\alpha} = 8/0,6 = 13,333 \text{ кН};$$

$\sum M_8^{yuz} = 0; N_{6-4}^{\alpha} = 0$, бу ерда «ш» ва «α» индекслари стерженларнинг шпренгел-фермачага ёки асосий фермага тегишли эканлигини кўрсатади.

3- категория стерженлари учун топилган зўриқишларни йиғиндисидан охири қийматни оламиз:

$$N_{5-6} = N_{4-5} = N_{4-5}^{III} + N_{6-4}^{\alpha} = -2,667 + 0 = -2,667 \text{ кН};$$

$$N_{4-10} = N_{4-10}^{III} = N_{8-4}^{\alpha} = 3,333 + 13,333 = 16,667 \text{ кН}.$$

8-10 ва 6-8 стерженлари 1- категория стерженларига қарашли, улардаги зўриқишлар 2.4.11, в- расм бўйича аниқланади. 8-10 стерженининг зўриқиши 8-4 стержени зўриқиши билан бир хил, яъни

$$N_{8-10} = N_{8-4}^{\alpha} = 13,333 \text{ кН}.$$

6-8 стержендаги зўриқишни топиш учун V-V кесим ўтказамиз, чап қисмини ташлаб юборамиз, кесилган стерженлардаги зўриқишларни ташлаб юборилган томонга йўналтириб кесимнинг ўнг томонидаги ҳамма кучларни Y ўқиға проекцияларининг йиғиндиси кўринишидаги мувозанат тенгламасини тузамиз (2.4.11, в- расмга қаранг).

$$\sum Y^{yuz} = 0; -F_5 - N_{6-8} = 0, N_{6-8} = -F_5 = -8 \text{ кН}.$$

Шпренгелли фермаларнинг икки усулда ҳисобларини солиштиришдан қуйидаги хулосаларни қилиш мумкин:

1. категория стерженларидаги зўриқишни одатда, 2.4.11,в- расм бўйича иккинчи усулда анча осон аниқланади.

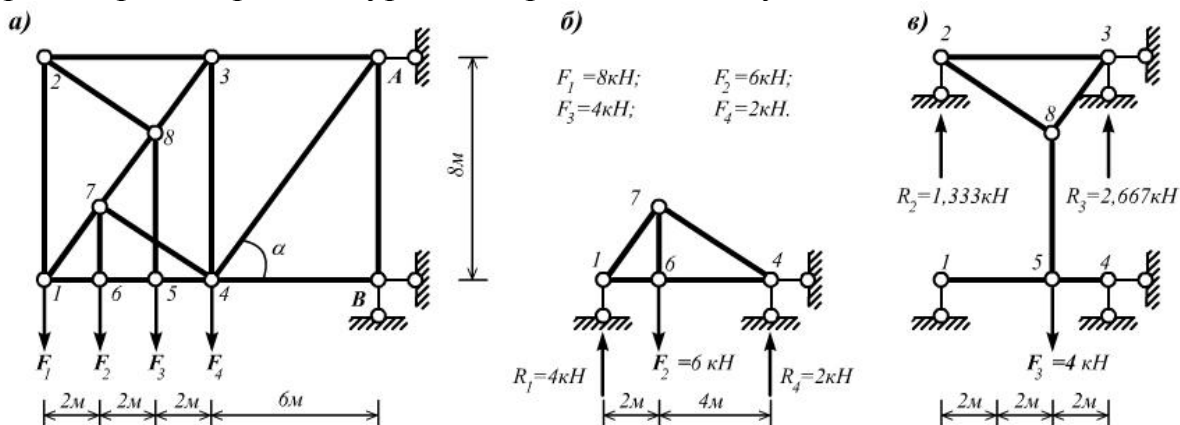
2. категория стерженларидаги зўриқишни 2.4.11, б- расм бўйича яна иккинчи усулда енгил топилади.

3. категория стерженларидаги зўриқишни 2.4.11, а- расмдан фойдаланиб биринчи усулда анча осон аниқланади. Агар ферма панелларида икки ва ундан кўп шпренгеллар бўлса, у ҳолда, аввало асосий тугундан ташқари

қўйилган юкни ферманинг асосий тугунларига тақсимлаб, аниқланувчи 3-категория стержени қатнашмаган шпренгелни олиб ташлаш керак.

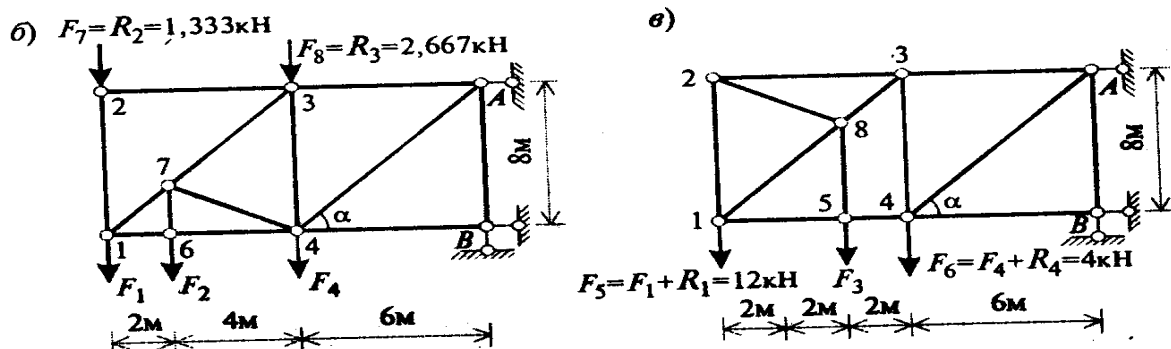
Жавоб: $N_{5-10} = -4 \text{ кН}$; $N_{5-6} = -2,667 \text{ кН}$; $N_{4-10} = 16,667 \text{ кН}$; $N_{8-10} = 13,333 \text{ кН}$; $N_{6-8} = -8 \text{ кН}$.

2.39- мисол. 2.4.14, а- расмда тасвирланган ферманинг биринчи панели барча стерженларидаги зўриқишларни аниқлаш йўли белгилансин.



2.4.14- расм

2.4.14, б, в- расмларда ферма таркибига кирувчи фақат ўзига қўйилган юк таъсирида бўлган бир ярусли ва икки ярусли шпренгеллар алоҳида кўрсатилган. Бу расмлар бўйича 2- категория стерженлари 6-7, 4-7, 5-8 ва 2-8 нинг зўриқишлари тугун кесиш усулини қўллаб жуда оддий топилади.



2.4.15 – расм.

1- категория стерженлари 1-2, 7-8 ва 3-4 даги зўриқишларни аниқлаш учун иккала шпренгелни олиб ташлаймиз, қўшимча 5,6-тугунларга қўйилган юкни 2.4.14, б,в- расмларга асосан асосий ферма тугунларига тақсимлаймиз (2.4.15, а- расм).

2.4.15, а- расмда тавсия қилинган асосий ферманинг ҳисоб схемаси N_{1-2} , $N_{7-8} = N_{1-3}$ ва N_{3-4} изланган зўриқишларни жуда енгил топиш имконини беради.

1-7, 1-6, 5-6, 4-5 3- категория стерженлари фақат бирярусли шпренгеллар таркибига кирази. 3- ҳулоса тавсиясига асосан икки ярусли шпренгелни олиб ташлаймиз, ундаги маҳаллий юкни асосий ферманинг 2,3-тугунларига тақсимлаймиз (2.4.14, в- расм). Шу тарзда олинган ферманинг ҳисоб схемаси (2.4.15, б- расм) бўйича етарлича осонлик билан изланаётган зўриқишлар N_{1-7} ва $N_{1-6} = N_{5-6} = N_{4-5}$ аниқланади.

Нихоят, яна 3- категорияга тегишли 2-3 ва 3-8 стерженлар фақат икки ярусли шпренгел таркибига кирази. Юқорида келтирилганига ўхшаш, бирярусли шпренгелни олиб ташлаймиз, 6- қўшимча тугундаги юкни (2.4.14, б- расмга қаранг) асосий ферманинг 1,4- тугунларига тақсимлаймиз. 2.4.15, в- расмда тавсия этилган ҳисоб схемаси бўйича, момент нуқтаси усули ва проекция усулларидан изланаётган N_{2-3} ва N_{3-8} зўриқишларни топамиз.

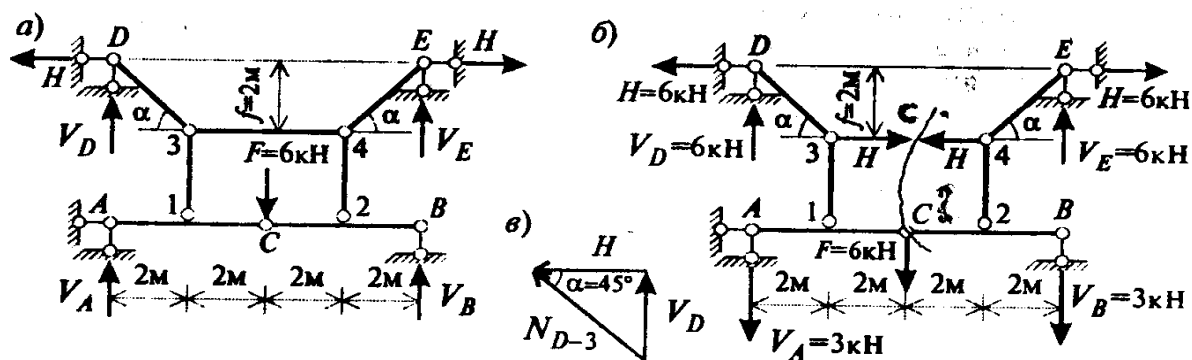
Шундай ҳаракат тартиби, шпренгелли ферма панелларида фақат бир ярусли ёки фақат икки ярусли шпренгеллари бўлган фермаларнинг ҳисобларида ҳам сақланади.

Жавоб: $N_{6-7}=6$ кН; $N_{4-7}=-3,606$ кН; $N_{5-8}=4$ кН; $N_{2-8}=2,403$ кН; $N_{1-2}=-1,333$ кН; $N_{7-8}=16,667$ кН; $N_{3-4}=-16$ кН; $N_{1-7}=11,667$ кН; $N_{1-6}=N_{5-6}=N_{4-5}=-7$ кН; $N_{2-3}=-2$ кН; $N_{3-8}=20$ кН.

2.40- мисол. 2.4.16, а- расмда кўрсатилган қўшилган (курама) системада M , Q , N эпюралари қурилсин.

Икки ёки бир неча системалардан (оддий ва шарнирли балка, арка, ферма, шарнирли-стерженли занжир ва ҳоказо) тузилган, ўзаро биргаликда ишлаши учун қўшимча боғланишлар бириктирилган геометрик ўзгармас системалар қўшилган (қурима) системалар дейилади.

2.4.16, а- расмда тасвирланган қўшилган система, бикирлик балкаси билан кучайтирилган занжирни ифодалайди. Занжирнинг элементлари



2.4.16- расм.

(унинг қисм ва осма тортқичлари) чўзилишга, балка эса эгилишга ишлайди. Вертикал осмали занжир тугунларининг мувозанат шартидан, занжир барча элементларидаги зўриқишларнинг горизонтал проекцияси ҳовон дейилган бир хил H қийматга эга. Горизонтал H ва вертикал V_D , V_E кучларининг тенг таъсир этувчиси $D-3$ ва $E-4$ занжир элементлари бўйлаб йўналганлиги сабабли, масаланинг симметриклигини ҳисобга олиб, куч учбурчагидан (2.4.16, в- расм) қуйидагиларга эга бўламиз:

$$V_D = H \cdot \operatorname{tg} \alpha; N_{D-3} = H / \cos \alpha; V_E = H \cdot \operatorname{tg} \alpha; N_{E-4} = H / \cos \alpha.$$

Вертикал реакцияларни аниқлаш учун A ва B нуқталарга нисбатан бутун системанинг моментлар тенгламасини тузамиз:

$$\sum M_A = 0; F \cdot 4 - (V_B + V_E) \cdot 8 = 0; V_B + V_E = V_B^0 = 6 \cdot 4 / 8 = 3 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = 0; -F \cdot 4 + (V_A + V_D) \cdot 4 = 0; V_A + V_D = V_A^0 = 6 \cdot 4 / 8 = 3 \text{ кН}.$$

H ҳовонини аниқлаш учун кесилган ACD чап қисмининг мувозанатини қараймиз (2.4.16, б-расм):

$$\sum M_C^{чан} = 0; (V_A + V_D) \cdot 4 - H \cdot f = 0, \quad H = M_C^0 / f = 3 \cdot 4 / 2 = 6 \text{ кН},$$

бу ерда V_A^0 - агар бутун AB оддий балкадан иборат деб қаралса, унинг A таянчида пайдо бўладиган вертикал реакция, V_B^0 - AB балка ўнг таянчидаги таянч реакция, M_C^0 - оддий балка C нуктасининг эгувчи моменти.

H ҳовонини билсак, барча таянч реакцияларини ва $D-3$ ва $E-4$ занжир элементларидаги зўриқишларни осонлик билан топиш мумкин.

$$V_D = H \cdot \operatorname{tg} \alpha = 6 \cdot 1 = 6 \text{ кН}; \quad V_A = V_A^0 - V_D = 3 - 6 = -3 \text{ кН};$$

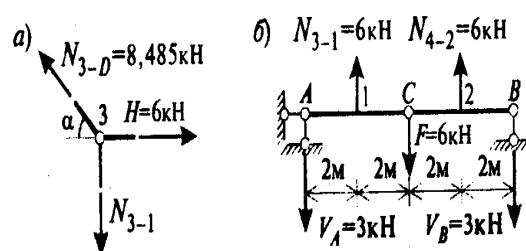
$$V_E = H \cdot \operatorname{tg} \alpha = 6 \cdot 1 = 6 \text{ кН}; \quad V_B = V_B^0 - V_E = 3 - 6 = -3 \text{ кН};$$

$$N_{D-3} = N_{E-4} = H / \cos \alpha = 6 / \cos 45^\circ = 8.485 \text{ кН}$$

Реакцияларнинг ҳақиқий қийматлари ва йўналишлари 2.4.16, б-расмда тасвирланган.

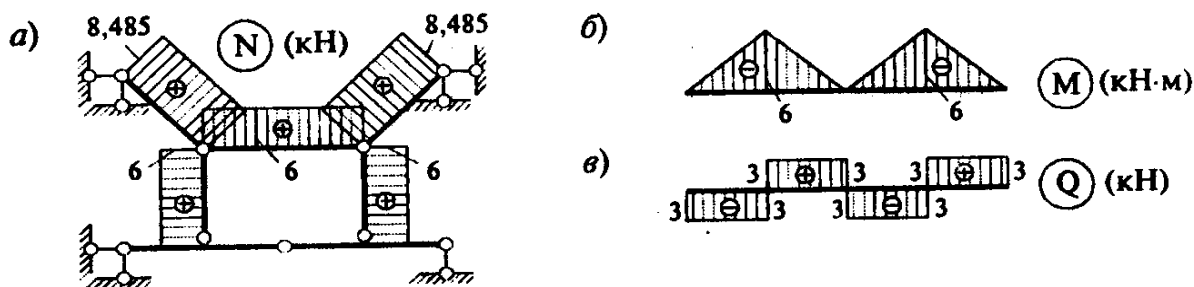
N_{3-1} бўйлама зўриқишни 3- кесилган тугуннинг мувозанат шартидан топамиз. Занжирнинг осмаларидаги зўриқишлар топилгандан сўнг, оддий AB балкага таъсир қилувчи юкларни кўрсатиш мумкин (2.4.17, б-расм).

3- тугун (2.4.17, а-расм); $\sum Y = 0$;
 $8.485 \cos 45^\circ - N_{3-1} = 0$; $N_{3-1} = 6 \text{ кН}$.



2.4.17-расм

Қўшилган (курама) системанинг ички зўриқиш эпюралари N , M , Q 2.4.18, а...в- расмларда келтирилган.



2.4.18- расм

2.41-мисол. 2.4.19- расмда тасвирланган қўшилган (курама) система учун M, Q, N эпюралари қурилсин.

Таянч реакцияларининг қийматлари ва йўналишлари 2.4.19-расмда кўрсатилган.

N_{2-3} зўриқишини аниқлаш учун 2-3 стержени ва C шарнири орқали I-I кесимини ўтказамиз, чап қисмини ташлаб юборамиз, ўнг қисмига таъсир қилувчи барча кучларнинг моментлари йиғиндисини нолга тенглаб оламиз:

$$\sum M_C^{yuz} = 0; -V_B \cdot 2 - N_{2-3} \cdot 4 = 0; N_{2-3} = -2 \text{ кН}.$$

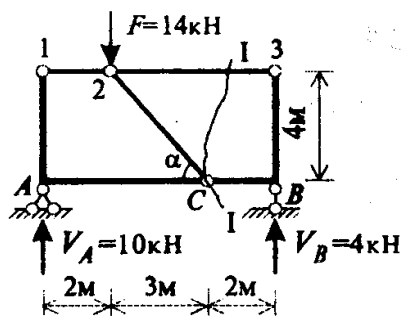
N_{2-3} зўриқиши 3-тугунга йўналган (2-3 стержени сиқилади). 2-1 ва 2-С стерженларидаги зўриқишларни тугунларни қирқиш усулида топамиз.

2- тугун (2.4.20): $\sum Y = 0$; $-F - N_{2-C} \cdot \sin \alpha = 0$;

$$N_{2-C} = -14/0,8 = -17,5 \text{ кН}; \quad \sum X = 0;$$

$$-N_{2-1} - N_{2-3} + N_{2-C} \cos \alpha = 0;$$

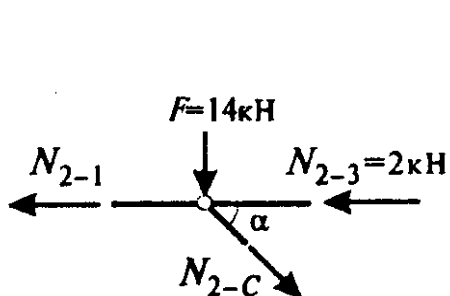
$$N_{2-1} = -2 - 17,5 \cdot 0,6 = -12,5 \text{ кН}.$$



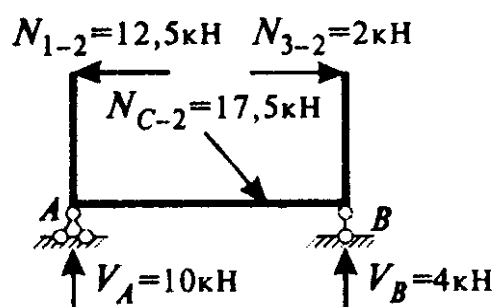
2.4.19-расм

Синиқ ўқли балкага таъсир қилувчи юклар 2.4.21-расмда кўрсатилган.

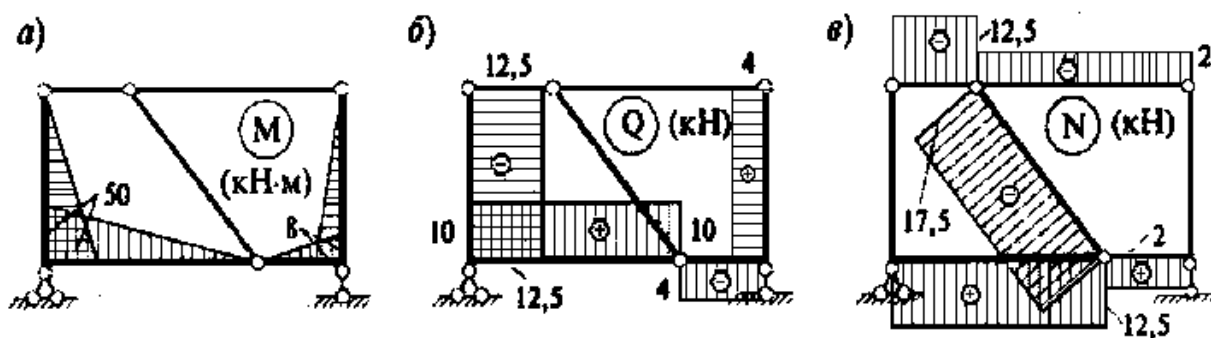
2.4.22, а...в-расмларда ички зўриқиш эпюралари M, Q, N келтирилган.



2.4.20-расм



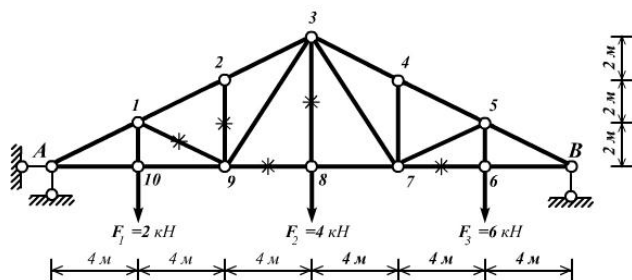
2.4.21-расм



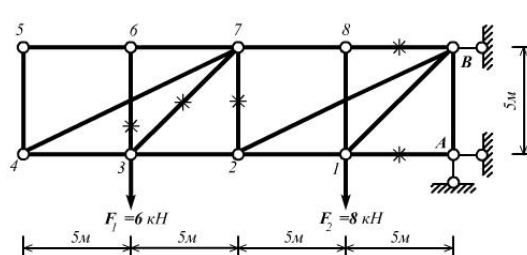
2.4.22-расм

2.4.01 ... 2.4.26-масалалар. Ферма ва қўшилган (курама) системаларнинг белгиланган элементларидаги бўйлама зўриқишлар N аниқлансин.

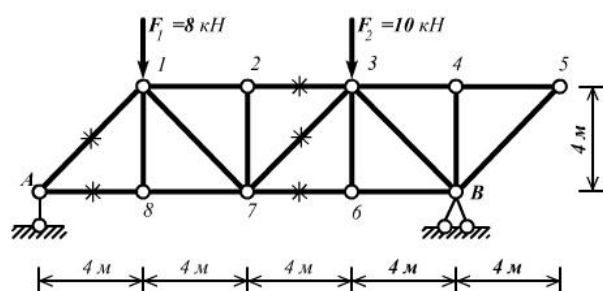
2.4.01



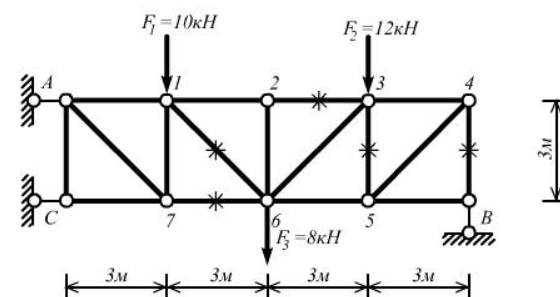
2.4.02



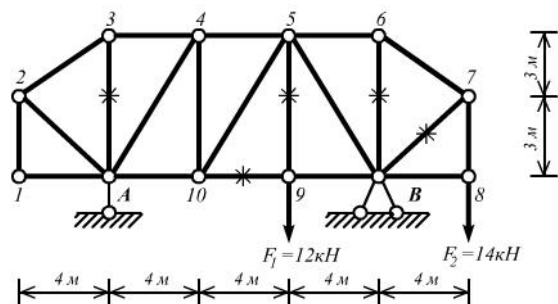
2.4.03



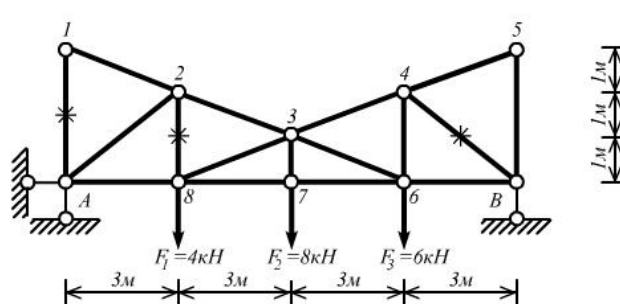
2.4.04



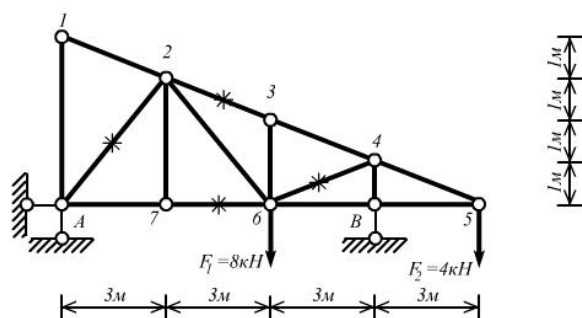
2.4.05



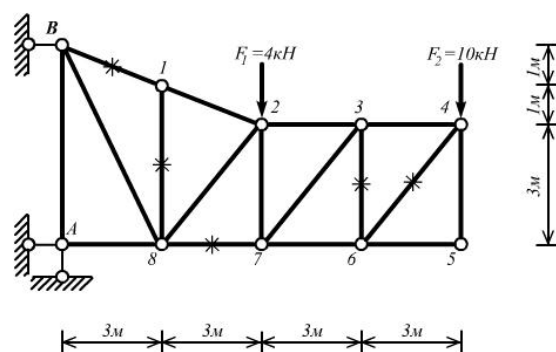
2.4.06



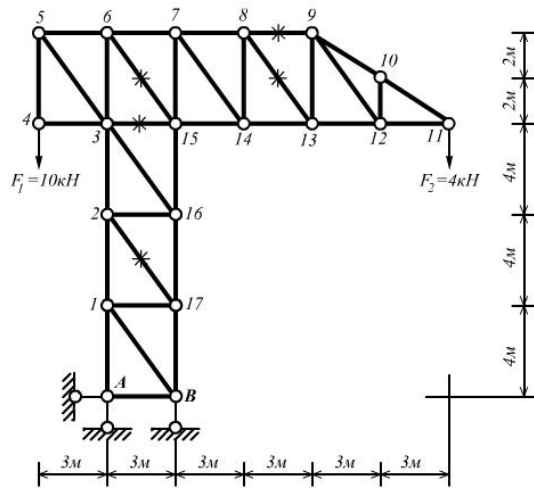
2.4.07



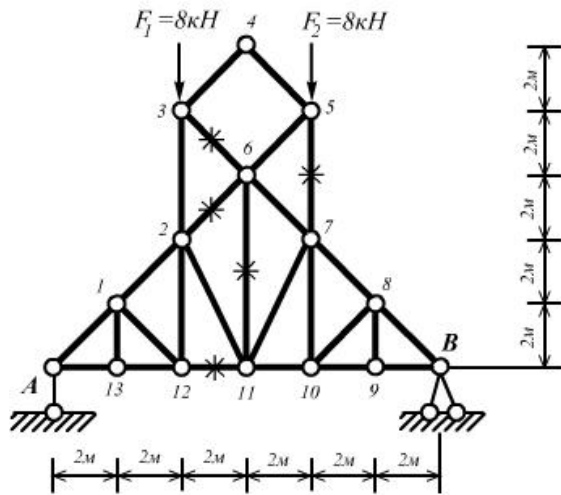
2.4.08



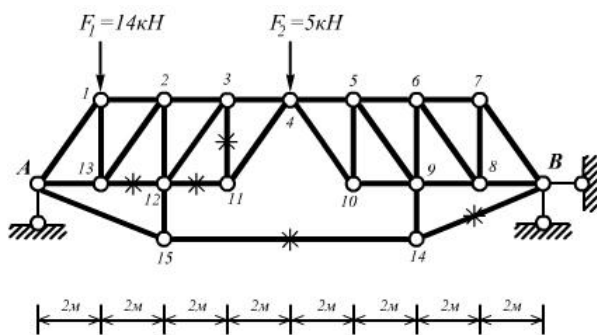
2.4.09



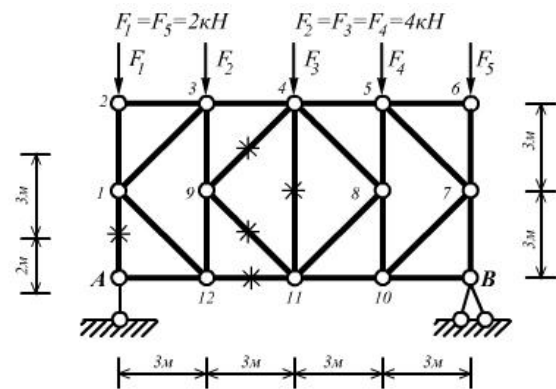
2.4.10



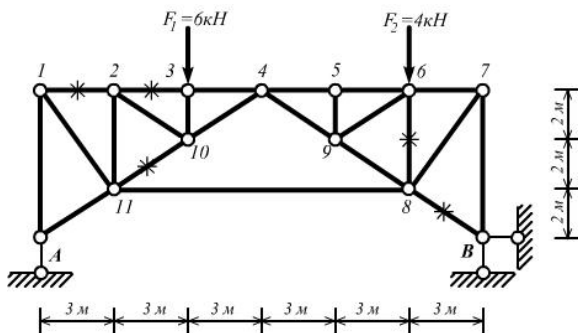
2.4.11



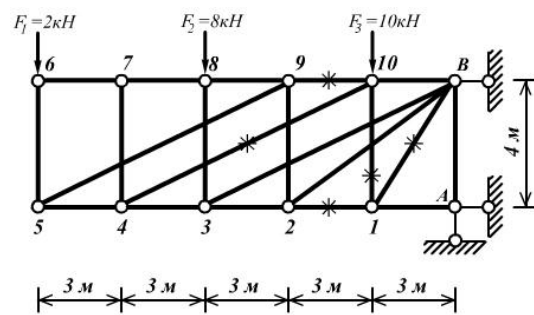
2.4.12



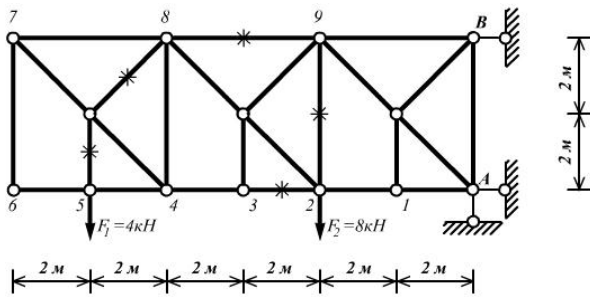
2.4.13



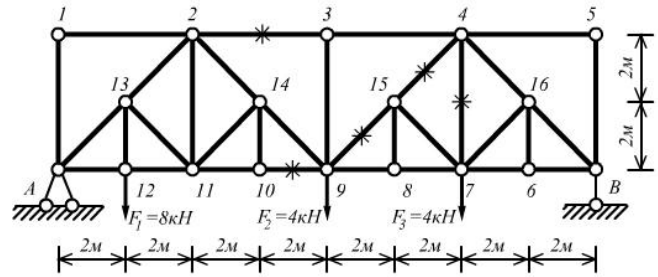
2.4.14



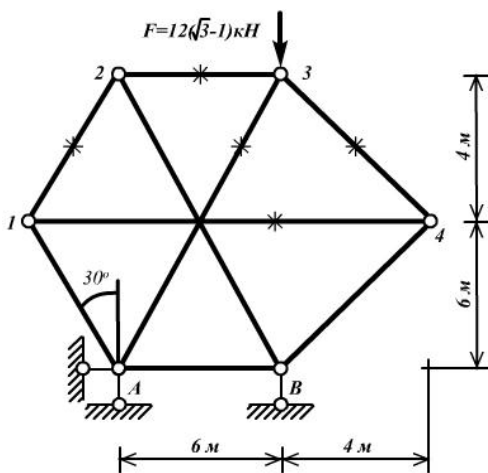
2.4.15



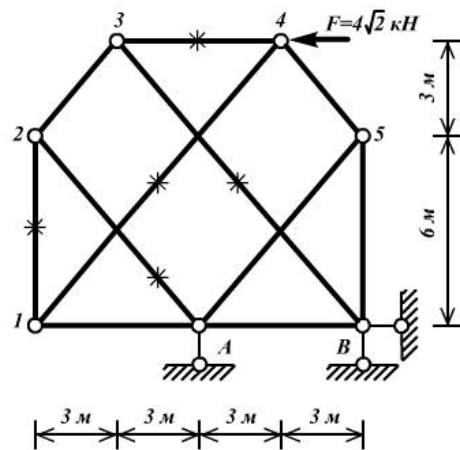
2.4.16



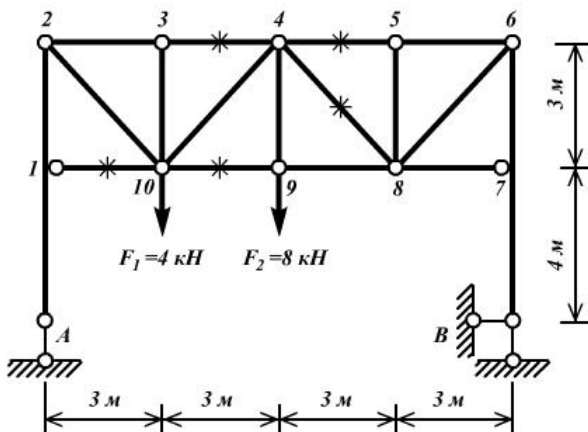
2.4.17



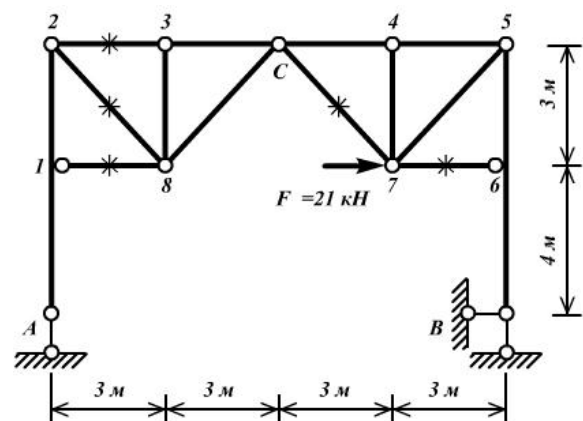
2.4.18



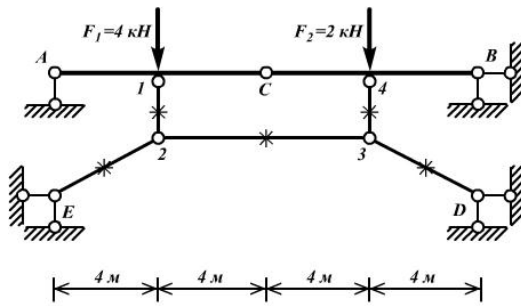
2.4.19



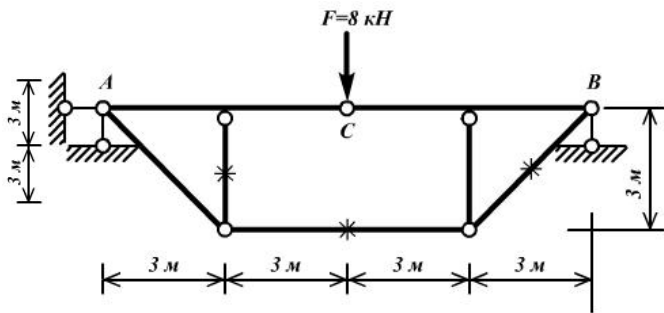
2.4.20



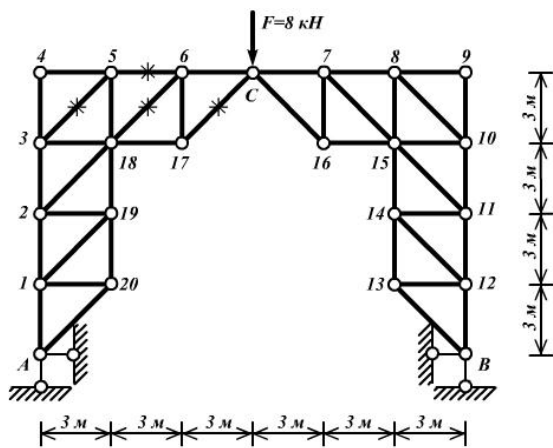
2.4.21



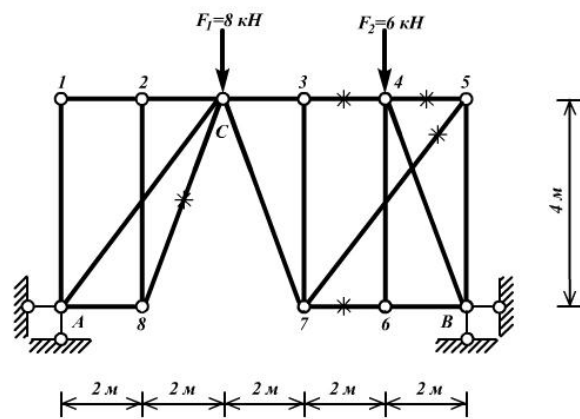
2.4.22



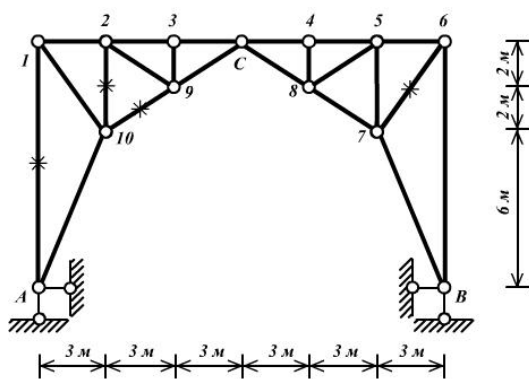
2.4.23



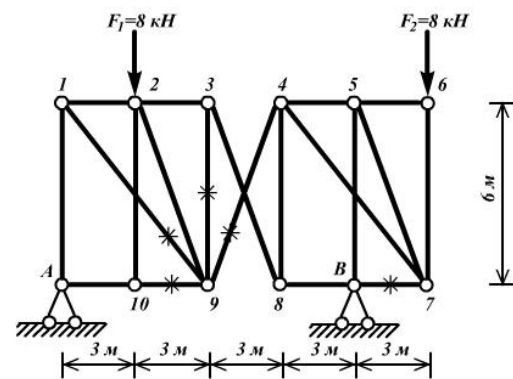
2.4.24



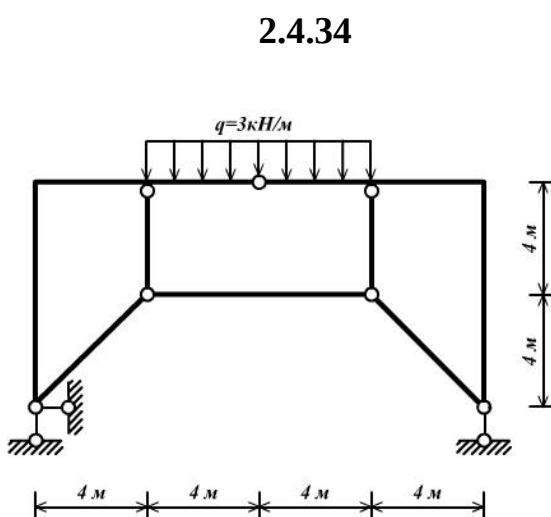
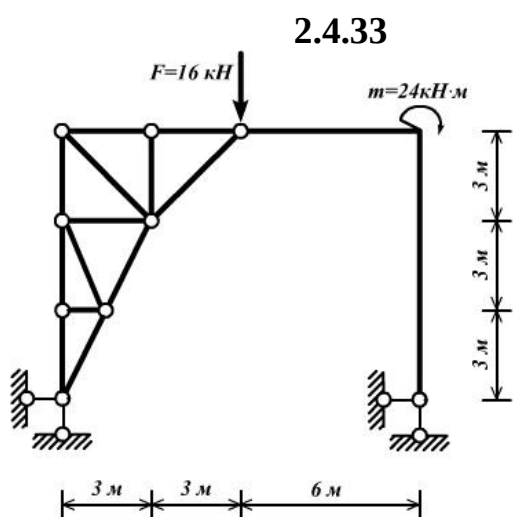
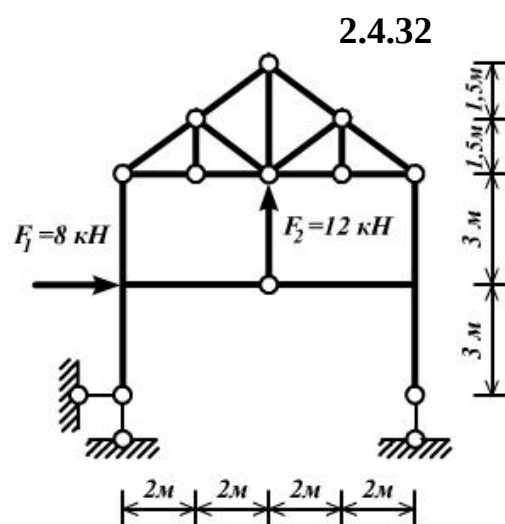
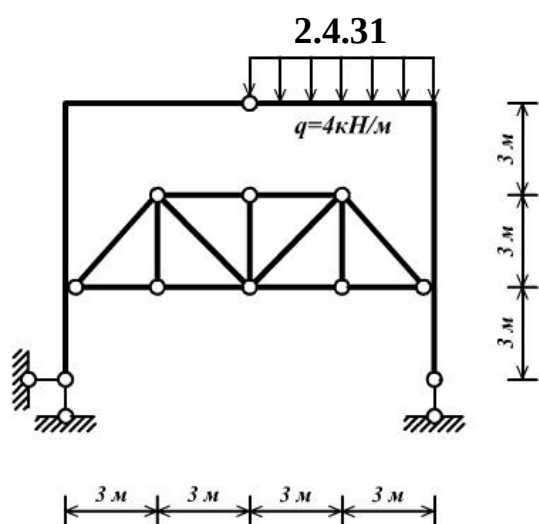
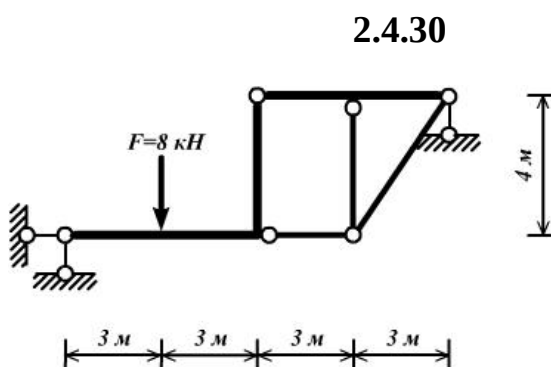
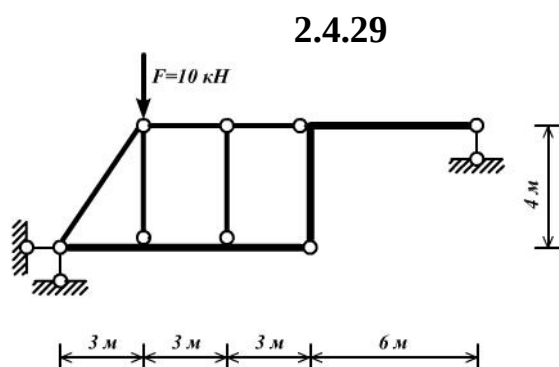
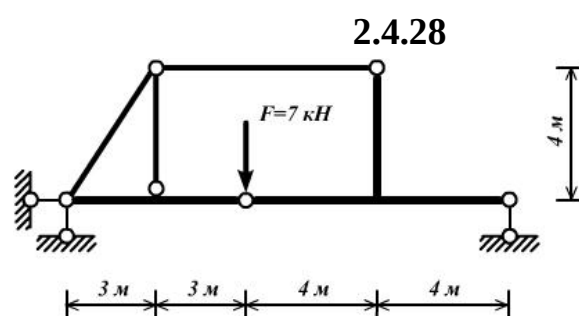
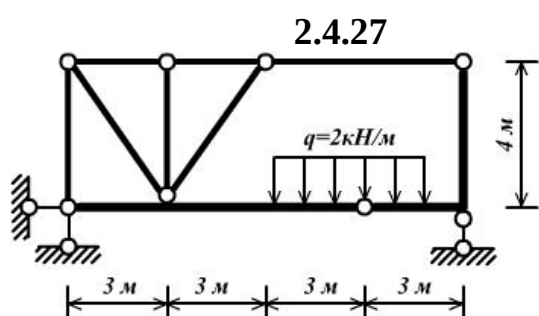
2.4.25



2.4.26



2.4.27... 2.4.34 – масалалар. M , Q , N эпюралари курилсин.



2 - Бобга доир ўзини- ўзи назорат қилиш учун саволлар

1. Статик аниқ системаларнинг асосий хусусиятларини сананг.
2. Таянч реакцияларининг қийматларини аниқлаш учун қайси тенгламалардан фойдаланилади?
3. Вертикал юк таъсирида бўлган горизонтал балканинг горизонтал таянч реакцияси нимага тенг?
4. Кўп ораликли шарнир-консолли балка қандай кўринишда бўлади? Унинг элементлари қайси типларга бўлинади ва унинг қаватлар схемаси қандай тузилади?
5. Кўп ораликли шарнир-консолли балкаларнинг ҳисоблаш тартиби қандай бўлади?
6. Бир дискли системаларда (оддий рамаларда) таянч реакциялари қандай аниқланади? Мисолларда кўрсатинг.
7. Қайси иншоотлар ҳовонли дейилади? Мисоллар келтиринг.
8. Уч шарнирли рама (арка) нима дегани? Таянч реакциялари ва торткичдаги зўриқиш қандай аниқланади?
9. Эластик мойил таянчларнинг борлиги реакцияларнинг қийматига таъсир қиладими?
10. Таянч реакцияларни топишнинг тўғрилиги қандай текширилади?
11. Эгувчи момент, кесувчи ва бўйлама кучлар нима дегани?
12. Эгувчи моментлар, кесувчи ва бўйлама кучлар эпюралари қандай бўлади ва бу эпюраларнинг ҳар бир ординатаси нимани билдиради?
13. Стержен ўқининг қайси томонига M эпюраси қурилади? Қайси толалар чўзилганлигини аниқлаш мақсадида, қандай усуллар қўлланилади?
14. M эпюраси бўйича Q эпюраси, Q эпюраси бўйича эса N эпюраси қандай қурилади?
15. Q ва N лар учун ишоралар қандай аниқланади? Мисоллар келтиринг.
16. Ёйилган юклари бўлмаган стержен ўқи узунлиги бўйича эгувчи момент ва кесувчи кучлар қайси қонуният бўйича ўзгаради?
17. Ҳамма кесимларида кесувчи куч нолга тенг бўлган стержен бўлагида, эгувчи момент эпюраси қандай кўринишга эга бўлади?
18. Эгувчи момент экстремал қийматга етган стерженнинг кесимида кесувчи куч нимага тенг?
19. Стерженнинг ўқига перпендикуляр ташқи йиғиқ куч F қўйилган кесимида эгувчи момент ва кесувчи куч қандай ўзгаради? Мисоллар келтиринг.
20. Стерженга ташқи йиғиқ момент m қўйилган кесимда эгувчи момент ва кесувчи куч қандай ўзгаради?
21. Шарнирда момент нимага тенг, агар унга чексиз яқин кесимга ташқи йиғиқ момент m қўйилмаган бўлса?
22. Раманинг (балканинг) ҳар бир тугунидаги моментлар йиғиндиси нимага тенг?
23. Ёйилган юк таъсиридан M эпюрасининг кабариклиги қайси томонга қараган? Мисоллар келтиринг.
24. Эгувчи моментнинг экстремал қийматлари қандай аниқланади?
25. Стерженнинг ясси ёйилган юк билан юкланган бўлагида Q эпюраси қандай қурилади? Мисолларда кўрсатинг.

26. Шарнирли таянчлардаги ва консолли балкалар учун ҳар хил юклар таъсиридан M ва Q эпюраларини қуришга мисоллар келтиринг (2.1- жадв. қаранг).
27. Стерженнинг ℓ узунликдаги тўғри чизиқли бўлагида, q интенсивликдаги ясси ёйилган юк қўйилган ва момент эпюраларининг икки чекка ординаталари маълум бўлса, эгувчи моментларнинг балка эпюраси қандай «осилади»? Мисоллар келтиринг.
28. Стерженнинг ℓ узунликдаги тўғри чизиқли бўлагида, йиғиқ куч F билан юкланган ва момент эпюраларининг икки чекка ординаталари маълум бўлса, эгувчи моментларнинг балка эпюраси қандай «осилади»? Мисоллар келтиринг.
29. Стерженнинг ℓ узунликдаги тўғри чизиқли бўлагида, йиғиқ момент m билан юкланган ва момент эпюраларининг икки чекка ординаталари маълум бўлса, эгувчи моментларнинг балка эпюраси қандай «осилади»? Мисоллар келтиринг.
30. Q ва N эпюраларини текшириш нимадан иборат бўлади?
31. Статик аниқ системаларда эластик мойил таянчларнинг борлиги M эпюралари ординатасининг қийматига ва ўзгариш қонуниятига таъсир қиладими?
32. Қўшма рамаларнинг қаватлар схемаси қандай тузилади?
33. Қўшма рамаларнинг ҳисоблаш тартиби қандай бўлади?
34. Ферма дегани нима? Ферма стерженларида нима учун ва қандай зўриқишлар пайдо бўлади? Балкасимон ферма реакциялари қандай аниқланади?
35. Ферма элементлари қандай аниқланади?
36. Момент нуқтаси деб нимага айтилади? Мисоллар келтиринг.
37. Фермаларда зўриқишларни (рамаларда реакцияларни) аниқлаш учун қачон момент нуқтаси усулини қўллаш қулай бўлади? Бу усулнинг моҳияти нимада? Мисоллар келтиринг.
38. Тугунларни қирқиш усули қачон ва қандай қўлланилади? Унинг афзаллиги ва камчиликлари нимада? Мисоллар келтиринг.
39. Қайси стерженлар нолинчи дейилади? Тугунлар мувозанатининг хусусий ҳолларини келтиринг.
40. Зўриқишларни топишнинг проекция усули қачон қулай бўлади? Унинг моҳияти нимада?
41. Ҳовонли ферма нима дегани? Ҳовонли ферма таянч реакциялари (тортқичдаги зўриқиш) ва стерженларидаги зўриқишлар қандай ҳисобланади?
42. Шпренгелли ферма қанақа бўлади? Қандай мақсадда шпренгел-фермача қўлланилади? Мисоллар келтиринг.
43. Икки ярусли шпренгелнинг ишлаши бир ярусли шпренгелнинг ишлашидан нимаси билан фарқ қилади?
44. Шпренгелли ферма стерженлари ишлаш характери бўйича қайси категорияларга (типларга) бўлинади?
45. Шпренгелли ферма турли категория стерженларининг зўриқишларини ҳисоблашда қайси усуллар (қоидалар) дан фойдаланилади?
46. Қўшилган (қурама) системалар деганда нимани тушунилади?
47. Қўшилган (қурама) системаларни ҳисоблаш тартиби қандай бўлади?