

**ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐ, ՇԵՆՔԵՐ,  
ԿԱՌՈՒՅՑՆԵՐ ԵՎ ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ**

ՀՏԴ 624.04

**Ո.Պ. ԲԱՐՍԱՄՅԱՆ, Հ.Գ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ**

**ՍՏԱՏԻԿՈՐԵՆ ԱՆՈՐՈՇԵԼԻ ՁՈՂԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՊԱՐԶԵՑՎԱԾ  
ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱ  
(Վանածոր)**

Ներկայացվել է ստատիկորեն անորոշելի ձողային համակարգի մոտավոր հաշվարկման մեթոդիկա: Համակարգի հաշվարկային սխեման առավելագույնս պարզեցված է: Ուժային պարամետրերի որոշման համար չի պահանջվում կազմել կանոնական հավասարումներ կամ կատարել բարդ ծավալուն հաշվարկներ: Ներքին ուժերի էպյուրների կառուցման հաջորդական քայլերը նվազագույն չափով պարզեցված են՝ չպահանջելով ճարտարագիտատեխնիկական գիտելիքների և փորձի բարձր մակարդակ: Լուծման մեթոդիկայի բարդության նվազեցման համար ներկայացված են հիմնավորված մոտավորություններ և սկզբունքներ: Հաշվարկի ստացվող արդյունքները բավարար ճշտությամբ համապատասխանում են անորոշելի ձողային համակարգերի խնդրի այլ ընդունված մոտավոր մեթոդներով լուծումներին:

**Առանցքային բառեր.** անորոշելի համակարգեր, գծային կոշտություն, պարզունակ, ծող մոմենտների էպյուր, ներքին ուժեր, կիզակետային հարաբերություն, բաշխման գործակից, ազատ շրջանակ:

**Ներածություն:** Բարդ ստատիկորեն անորոշելի ձողային համակարգերի հաշվարկը աշխատատար և ոչ ստեղծագործական գործընթաց է: Ճարտարագետները, բնականաբար, ձգտել են կոնստրուկցիաների հաշվարկները տեսականորեն հիմնավորել և հնարավորինս փոքրացնել հաշվարկների ծավալները: Հաշվարկների ավտոմատացմանը զուգընթաց փորձեր են արվել՝ կիրառելու պարզեցված և մոտավոր մեթոդներ, որոնք կարագացնեն հաշվարկային գործընթացը, կապահովեն քայլերի տրամաբանական հաջորդականությունը և պահանջվող ճշտության չափը: Ստատիկորեն անորոշելի համակարգերի մեջ ներքին ուժերի բաշխումը կախված է ոչ միայն արտաքին ուժերից, այլ նաև համակարգը կազմող տարրերի չափերի հարաբերակցությունից, հենարանների ընկրկելիությունից, միմյանց հետ կոշտ ամրակցված ձողային հանգույցների առաձգական շարժունակությունից, ջերմային տատանումներից և այլն: Չնայած այս հանգամանքներին՝ անորոշելի ձողային համակարգերի կիրառությանը տնտեսապես նպատակահարմար է. դրանք ավելի կոշտ են, և արդարացված է այդ սխեմաների ընտրությունը: Բայց ցանկալի կոշտության ապահովման համար պահանջվում է ավելացնել «ավե-

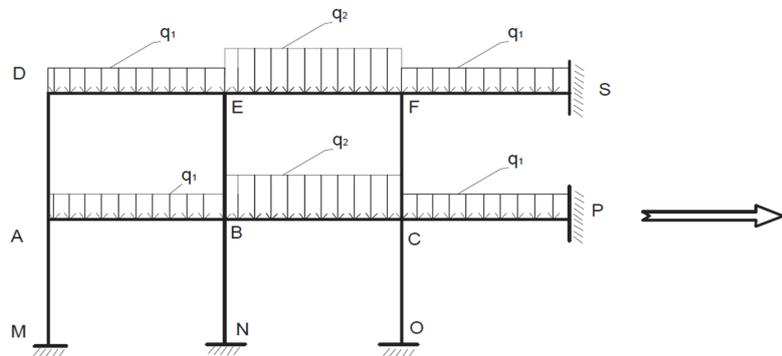
լորդ» կապերի քանակը, որոնք բարդացնում են ձողային համակարգերի ուժային հաշվարկը: Անորոշելի ձողային համակարգերի «ճշգրիտ» լուծման մեթոդներում պահանջվում է նախապես տալ կոնստրուկցիայի տարրերի գծային կոշտությունների հարաբերակցությունը: Այդ հարաբերակցության ոչ ճիշտ նախնական գնահատումը հանգեցնում է ներքին ուժերի բաշխման իրական պատկերի շեղման: Դրա համար բարդ ու ծավալուն հաշվարկը անհրաժեշտ է կատարել մի քանի անգամ հաջորդական մոտեցման եղանակով: Արագ արդյունքի հասնելու համար շատ կարևոր է, որ ձողերի գծային կոշտությունների նախնական տալը լինի բավարար հիմնավորված, պարզ և ոչ մեծ հաշվարկների հիման վրա:

Նախնական ուժային հաշվարկները պահանջվող ճշտությամբ կարելի է կատարել ձողային համակարգի ծանրաբեռնված հատվածային մասերի համար, քանի որ բեռնավորված թռիչքի հարակից տեղամասերից հետո եկող բեռների ազդեցությունը դիտարկվող թռիչքի վրա փոքր է: Այնուհետև, կոնստրուկտավորվում են համակարգի տարրերի (կանգնակներ, պարզունակներ և այլն) լայնական չափերը, և միավորելով նույնատիպ տարրերը՝ հաշվարկվում է դրանց նախնական գծային կոշտությունների հարաբերակցությունը: Հաջորդ մոտեցման դեպքում ճշգրտվում են համակարգի տարրերի գծային կոշտությունները, և կատարվում է ուժային վերջնահաշվարկ:

Կառույցի նպատակային նշանակությունը փոխելու դեպքում ներքին ուժերի վերահաշվարկն առաջարկվում է կատարել այն հատվածային մասերի համար, որոնց վրա աճել են ժամանակավոր նորմատիվ բեռները:

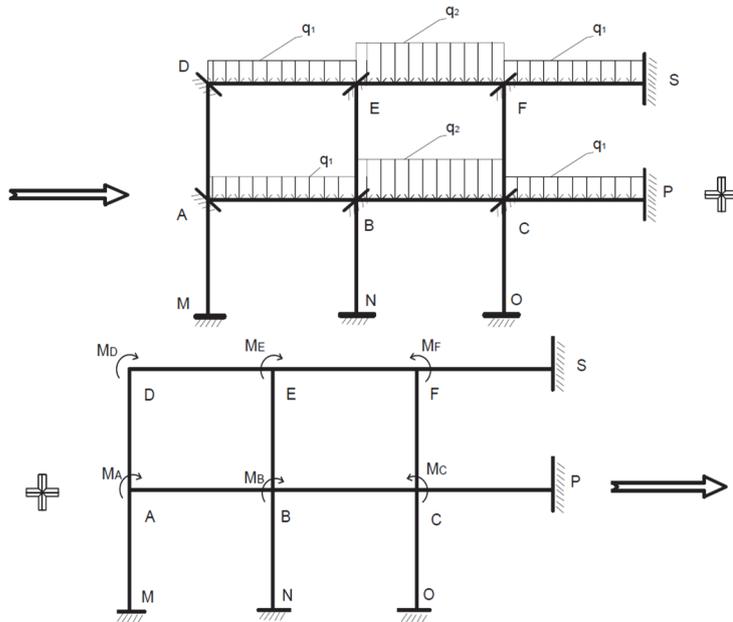
Առաջարկվող տարբերակում կոնստրուկցիաների հաշվարկային սխեմաներում լրացուցիչ պարզեցումներ և կանխադրույթներ չեն ավելացվում:

**Նյութեր և մեթոդներ:** Դիտարկենք հաշվարկային սխեմայի և մեթոդիկայի առաջարկվող տարբերակը ուղղաձիգ բեռներից շրջանակի ուժային հաշվարկի դեպքում (նկ. 1):



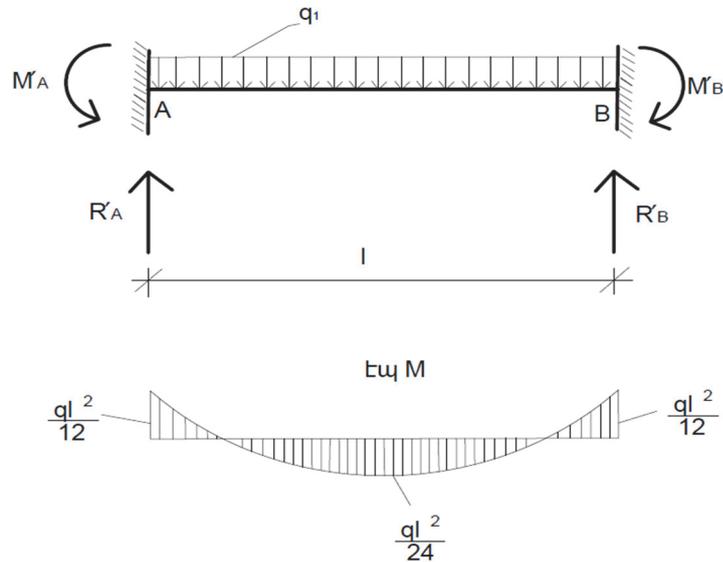
Նկ. 1. Շրջանակի հաշվարկային սխեման

Շրջանակի շարժուն առաձգական հանգույցներում մտցնելով մտացածին (փիկտիվ) ամրակցում [1]՝ գտնենք հակազդող մոմենտները հանգույցներում: Այնուհետև մտացածին ամրակցումը վերացնելով՝ շրջանակի հանգույցների վրա կիրառենք հակազդող մոմենտներին հակառակ ակտիվ հանգուցային մոմենտները: Ուժերի ազդեցության անկախության սկզբունքի համաձայն՝ արտահանգուցային բեռները փոխարինենք պարզունակներից շրջանակի հանգույցներին հաղորդվող ճիգերով և երկու ծայրերով կոշտ ամրակցված պարզունակի վրա ազդող ինքնահավասարակշռված ուժահամակարգով, որը ներառում է արտահանգուցային բեռները և հենարանային հակազդումները (նկ.2): Նկ.2-ում  $M_A$ -ն,  $M_B$ -ն,  $M_C$ -ն  $M_D$ -ն,  $M_E$ -ն և  $M_F$ -ը համապատասխան հանգույցում չհավասարակշռված ակտիվ հանգուցային մոմենտներն են:



Նկ. 2. Արտահանգուցային բեռների բաղադրումը ինքնահավասարակշռված ուժահամակարգերի և ակտիվ հանգուցային մոմենտների

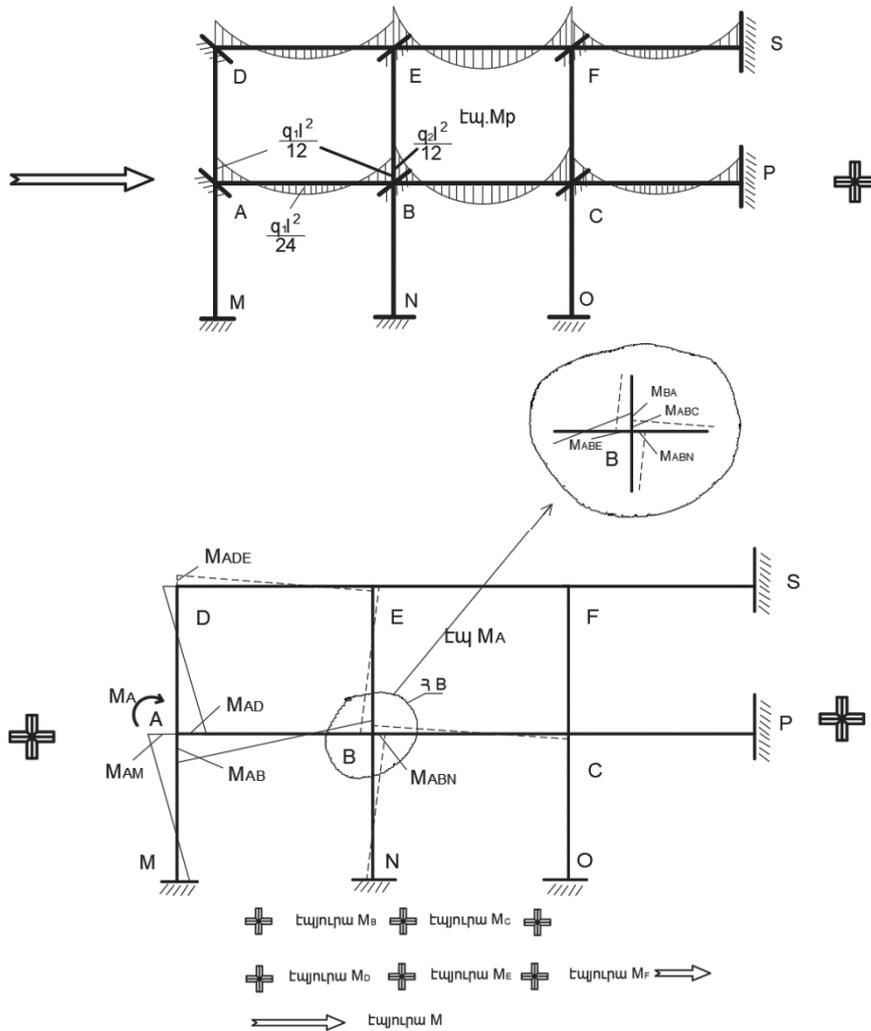
Հանգույցներին հաղորդվող ճիգերը դիտարկվում են որպես շրջանակի վրա ազդող արտաքին ուժեր [2]: Պարզունակի վրա ազդող ինքնահավասարակշռված ուժերից կառուցենք ծող մոմենտների էպյուրը (նկ.3):



Նկ. 3. AB պարզունակի հաշվարկային սխեման և էպյուրը

Տիպային բեռների և տարածված հենարանային սխեմաների համար ծող մոմենտների էպյուրները տեղեկատու գրականության մեջ բերված են աղյուսակային և գրաֆիկական տեսքով: AB պարզունակի համար նկ. 3-ում պատկերված է ինքնահավասարակշռված ուժահամակարգը և նրան համապատասխան ծող մոմենտների էպյուրը:

$q_l$  բախշված բեռը արտահանգուցային է, որը հավասարակշռվում է  $R'_A = R'_B = ql/2$  հեներանային հակազդումներով և  $M'_A = M'_B = ql^2/12$  հենարանային մոմենտներով: AB պարզունակից շրջանակի A և B հանգույցներին փոխանցվում են ակտիվ  $M_A$  և  $M_B$  մոմենտները և  $R_A$  և  $R_B$  ուղղաձիգ բեռները: Վերջիններս չեն առաջացնում ծոման դեֆորմացիաներ: Հաշվարկվում են շրջանակի պարզունակներից հանգույցներին հաղորդվող մոմենտները՝ ըստ տեղեկատու գրականության մեջ բերված էպյուրների: Շրջանակի առաձգական շարժուն հանգույցներին հաղորդվող մոմենտները՝ ըստ բաշխման գործակիցների, վերաբաշխվում են հանգույցում զուգամիտվող բոլոր ձողերի վրա: Մոմենտների կիզակետային (фокусное) հարաբերությամբ որոշում ենք ձողերի հակադիր ծայրերում ծող մոմենտների մեծությունները: Այս մոմենտները, իրենց հերթին, վերաբաշխվում են նոր հանգույցում զուգամիտվող մնացած ձողերի վրա (նկ. 4):



Նկ. 4. Շրջանակում ծող մոմենտների վերաբաշխումը և արդյունարար էպյուրի կառուցումը

Ծող մոմենտների առաձգական շղթայական տարածումը արագ փոքրանում է, քանի որ ֆոկուսային հարաբերությունները  $\geq 2$ -ի: Առաջին կրկնության դեպքում հանգուցային մոմենտների վերաբաշխումը և առաձգական տարածումը կարելի է սահմանափակել հանգուցին հարակից ձողերով: Անհրաժեշտ ճշտություն ապահովելու համար հաջորդ մոտեցման դեպքում անհրաժեշտ է շարունակել մոմենտների վերաբաշխման ու հաղորդման գործընթացը մինչև նրա չափը դառնա բավարար փոքր՝ ապահովելով պահանջվող ճշտությունը: Այս մեթոդով ոչ ազատ շրջանակների հաշվարկը կատարվում է հետևյալ կարգով [3]՝

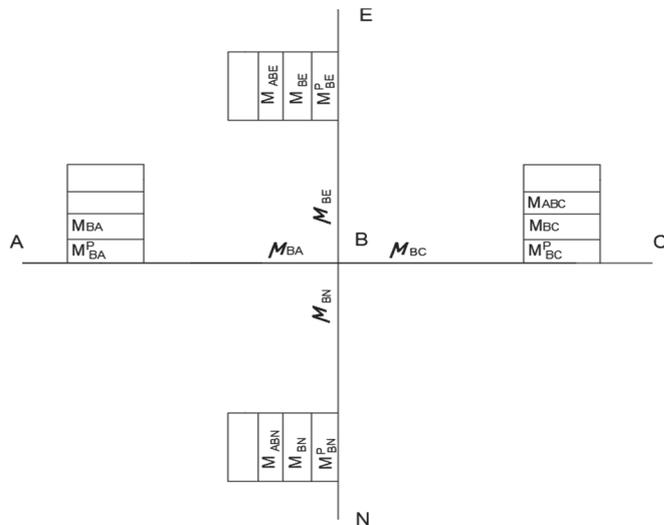
1. հաշվարկվում են շրջանակի պարզունակներից հանգույցներին հաղորդվող մոմենտները,

2. առաջին մոտեցման դեպքում տրվում է ձողերի գծային կոշտությունը, իսկ հաջորդ քայլերի դեպքում հաշվարկվում է նրանց չափը,

3. հաշվարկվում են հանգույցներում մոմենտների բաշխման գործակիցները և ձողերի կիզակետային հարաբերությունները,

4. հաշվարկվում են ձողերի ծայրային կտրվածքներում ծող մոմենտների մեծությունները՝ ըստ բաշխման գործակիցների և կիզակետային հարաբերությունների:

Ուժերի ազդեցության անկախության սկզբունքի համաձայն՝ ծող մոմենտների մեծությունները որոշվում են առանձին հանգույցային մոմենտներից: Արդյունարար ծող մոմենտները ստացվում են շրջանակի հանգույցային մոմենտներից և պարզունակների ինքնահավասարակշռված ուժահամակարգերից էլյուրների գումարով: Շրջանակի սխեմայի վրա յուրաքանչյուր ձողի համար բեռնվածքային և կիզակետային մոմենտները կարելի է գրառել հաշվարկային ձևաթղթերի ձևով (նկ. 5) և հանրահաշվական գումարով գտնել արդյունարար մոմենտը [4]:



Նկ. 5. Մոմենտների բաշխման ձևաթուղթը B հանգույցի համար

Ձևաթղթում ձողերի վրա նշված են հանգույցային մոմենտների բաշխման գործակիցները: Սյունակ-աղյուսակներում համապատասխան նշանով գրանցվում են ձողերի արտահանգույցային բեռներից մոմենտները ( $M^P_{BC}$ ), բաշխված հանգույցային մոմենտները ( $M_{BC}$ ), մոմենտների կիզակետային մեթոդով հաշվված հաղորդվող մոմենտները ( $M_{ABC}$ ):

Ձևաթղթում նշված են միայն  $AB$  ձողից  $B$  հանգույցի ձողերին հաղորդված մոմենտները: Եթե  $B$  հանգույցի այլ ձողերի հենարանային մոմենտները չեն անտեսվում, ապա նրանք ևս պետք է բաշխել հանգույցի մնացած ձողերի վրա՝ ըստ բաշխման գործակիցների: Մոմենտների կիզակետային հարաբերության մեթոդով բաշխման գործակիցները հաշվարկվում են՝ ելնելով այն պայմանից, որ դեֆորմացիայի հետևանքով հանգույցում ձողերի միջև անկյունները չեն փոխվում: Ձողերի հանգուցային կտրվածքի պտտման անկյունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [3].

$$\theta_{BA} = -\frac{M_{BA}}{6i_{AB}} \left( 2 - \frac{1}{K_{AB}} \right),$$

որտեղ  $\theta_{BA}$ -ն  $B$  հանգույցում զուգամիտվող  $AB$  ձողի հանգուցային կտրվածքի պտտման անկյունն է,  $M_{BA}$ -ն՝ հանգույցից  $AB$  ձողին վերաբաշխված մոմենտի մեծությունը,  $i_{AB}$ -ն՝ ձողի գծային կոշտությունը,  $K_{AB}$ -ն՝ ձողի կիզակետային հարաբերությունը:

Եթե ձողի հակադիր ծայրը կոշտ է ամրակցված, ապա ֆոկուսային հարաբերությունը հավասար է 2-ի, հողակապային ամրակցման ժամանակ՝ անվերջության [3]: Առաձգական շարժուն կոշտ ամրակցման դեպքում նախնական հաշվարկներում կարելի է վերցնել 2,5...3,5: Եթե ձողի հակադիր հանգույցում զուգամիտվում են շատ ձողեր, ապա ընդունում ենք 2,5: Ձողերի գծային կոշտությունը որոշվում է  $i=EJ/l$  բանաձևով, որտեղ  $EJ$ -ն ձողի լայնական կտրվածքի կոշտությունն է,  $l$ -ը՝ երկարությունը: Նախնական հաշվարկներում պարզունակների լայնական կտրվածքների կոշտությունը վերցնում ենք կանգնակից 1,5...2 անգամ ավելի: Հանգույցի որևէ ձողից մյուս բոլոր ձողերին հաղորդվող մոմենտների բաշխման գործակիցների գումարը հավասար է մեկի:  $AB$  ձողից  $BC$  ձողին հաղորդվող մոմենտի բաշխման գործակիցը որոշվում է հետևյալ բանաձևով [3].

$$M_{ABC} = \frac{K_{BC}i_{BC}(K_{BA} - 2)}{i_{BA}(2K_{CB} - 1)}:$$

Նույն անալոգով հաշվվում են նաև բաշխման մյուս գործակիցները: Եթե հայտնի են հանգույցը մտնող ձողերի գծային կոշտությունները, ապա մոմենտների կիզակետային հարաբերությունները որոշվում են հետևյալ բանաձևով [3].

$$K_{BA} = 2 + \frac{i_{BA}}{\sum_B \frac{i_{BN}}{2 - \frac{1}{K_{NB}}}}:$$

Այստեղ գումարը տարածվում է B հանգույցի բոլոր ձողերի վրա, բացի այն ձողից, որի միջոցով հանգույցին է հաղորդվում մոմենտը: Արտահանագույցային բեռներից շրջանակի առաձգական շարժուն հանգույցներին հաղորդվող մոմենտները վերաբաշխվում են հանգույցում զուգամիտվող բոլոր ձողերի վրա: Բաշխման գործակիցները որոշվում են հետևյալ բանաձևով [4].

$$M_{BA} = \frac{i_{BA}}{\sum i_B},$$

որտեղ  $\sum i_B$  - ն B հանգույցը զուգամիտվող բոլոր ձողերի գծային կոշտությունների գումարն է: Եթե տեղափոխությունների մեթոդի հիմնական հավասարման մեջ ձողի հակադիր ծայրը հողակապով է ամրացված, ապա ձողի գծային կոշտությունը պետք է փոքրացնել 0,75 գործակցով: Բոլոր հանգույցների համար  $\sum M = 1$  :

Ազատ շրջանակների առաձգական շարժուն հանգույցների տեղափոխությունը փոխում է ներքին ուժերի բաշխվածությունը, և նրանց ուժային հաշվարկը կատարվում է հետևյալ կարգով [1].

1. ազատ շրջանակի վրա ավելացնում ենք հենարանային ձողիկներ՝ արգելակելով հանգույցների տեղափոխությունները,
2. տեղափոխությունների մեթոդով ոչ ազատ շրջանակի հաշվարկով գտնում ենք ավելացված հենարանային ձողիկներում հակազդումները,
3. հեռացնում ենք ավելացված հենարանային ձողիկները,
4. շրջանակը հաշվարկում ենք հենարանային ձողերի հակազդումներին հակառակ ուղղված ակտիվ հանգույցային ուժերից,
5. արդյունարար ծոող մոմենտները ստանում ենք տեղափոխությունների բացակայության և տեղափոխություններով պայմանավորված ծոող մոմենտների գումարով:

**Եզրակացություն:** Ձողային համակարգը պարզեցնելով՝ հնարավորություն է ստեղծվում տիպային ուժերի դեպքում առանձին տարրերի համար օգտվել պատրաստի լուծումներից: Քանի որ ձողերի կիզակետային հարաբերությունները կախված չեն արտաքին ուժերից, ապա տարբեր բեռներից ներքին ուժերի վերաբաշխումը կատարվում է նույն հարաբերակցությամբ և կարգով: Այս կարգով կատարվող հաշվարկը ավելի արդյունավետ է, երբ զուգորդվում են մշտական և ժամանակավոր բեռները: Որոշ թռիչքային մասերից ժամանակավոր բեռների հաշվարկման կամ անտեսման անհրաժեշտությունը ավելի ակնհայտ է երևում: Քանի որ հաշվարկային ձևաթղթում գրանցվում են ծոող մոմենտների մեծությունները առանձին բեռներից, ապա ամենամեծ դրական կամ ամենամեծ

բացասական ծող մոմենտները ստացվում են նորմերով որոշվող իրական զուգորդմամբ: Շրջանակների տարրերի նախնական չափերի գնահատումը, առանց բարդ ճողային համակարգի ընդհանուր լուծման, կարելի է կատարել ծանրաբեռնված հատվածային մասի մոտավոր ուժային հաշվարկով:

Շրջանակների հաշվարկային սխեմաների մեջ հանգույցները սովորաբար դիտարկվում են կոշտ կամ իդեալական հողակապային: Ձողային համակարգերում ոչ իդեալական հողակապերով հանգույցներին փոխանցվող մոմենտների հաշվառումը չի բարդացնում հաշվարկները և հնարավորություն է տալիս հաշվի առնել իրական հողակապից հանգույցին փոխանցվող սահմանային մոմենտները: Այս մոտեցումը կարելի է օգտագործել կոշտ և ընկրկելի տարրերով բիոմեխանիկական համակարգերի հաշվարկման դեպքում: Ստատիկորեն անորոշելի տարածական շրջանակների համար անհայտների մեծ քանակի պատճառով առաջանում են գործնական դժվարություններ: Ռացիոնալ լուծումներ տարածական շրջանակների համար առայժմ չկան: Ձողերից ոչ հանգուցային ուժերը, փոխանցելով շրջանակի հանգույցներին, կիզակետային հարաբերությունների և բաշխման գործակիցների միջոցով կարելի է կառուցել տարածական շրջանակի էպյուրները: Մեթոդը կարելի է օգտագործել դիպլոմային աշխատանքներում շրջանակային կոնստրուկցիաների ուժային հաշվարկների դեպքում, ինչպես նաև շրջանակի առանձին տեղամասերի վերահաշվարկման համար: Հաշվարկային գործընթացի մեքենայացման դեպքում տվյալների մուտքը, ընթացքը և արդյունքները տեսանելիորեն կվերահսկվեն:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Снитко Н.К.** Строительная механика: Учебник для вузов. -Изд. 2-е, доп. -М.: Высшая школа, 1972. -488с.
2. **Ржаницын А.Р.** Строительная механика: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. школа, 1982. -400с.
3. **Պետրոսյան Գ. Ս.** Շինարարական մեխանիկա. Դասագիրք պոլիտեխն. բուհերի շին. մասնագետ. համար. - Եր. : Լոյս, 1980. -584 էջ:
4. Руководство к практическим занятиям по курсу строительной механики: Учеб. пособие для вузов. -Изд. 3-е, перераб. и доп. /Под ред. Г.К. Клейна. -М.: Высшая школа, 1973.- 360с.

**В.П. БАРСАМЯН, О.Г. КАЗАРЯН**

**УПРОЩЁННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИ  
НЕОПРЕДЕЛЁННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ**

Представлена методика упрощённого расчёта статически неопределённых систем. Расчётная схема системы максимально упрощена. Для определения силовых параметров не требуется составление канонических уравнений или выполнение сложных объёмных вычислений. Последовательные шаги построения эпюр внутренних сил упрощены до минимума, не требуя высокого инженерно-технического уровня знаний и опыта. Представлены обоснованные приближение и принципы, снижающие сложность методики решения. Полученные результаты расчёта достаточно точно соответствуют другим признанным методам приближённого решения задач для неопределённых стержневых систем.

*Ключевые слова:* неопределённые системы, линейная расчётная схема, прогон, эпюра изгибающих моментов, внутренние силы, фокусное соотношение, коэффициент распределения, свободная рама.

**V.P. BARSAMYAN, H.G. GHAZARYAN**

**A SIMPLIFIED METHOD FOR CALCULATING STATISTICALLY  
INDETERMINATE BEAM SYSTEMS**

A methodology for the simplified calculation of statistically indeterminate systems is introduced. The calculation scheme of this system is simplified as much as possible. To determine the force parameters formulation of canonical equations or the execution of complex volumetric calculations is not required. The sequential steps for constructing internal force diagrams are minimized, without requiring a high level of engineering knowledge and experience. Justified approximations and principles are presented, reducing the complexity of the solution methodology. The obtained calculation results correspond accurately to other recognized methods of approximate solution for indeterminate beam systems.

*Keywords:* indeterminate systems, linear stiffness, iteration, bending moment diagram, internal forces, force equilibrium, distribution coefficient, free frame.