

ԱՆՀԵԾԱՆ ԾԱԾԿԵՐԻ ԼԱՐՎԱԾԱԴԵՖՈՐՄԱՏԻՎ ՎԻՃԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ՝
ԿԻՐԱՌԵԼՈՎ ՊԱՀԱՆԳ-ԶԳԱՆ ՄՈՂԵԼԸ

Հովհաննես Արմենի Ավագյան

Ճարտարապետության և Շինարարության Հայաստանի Ազգային Համալսարան, ք. Երևան, ՀՀ
avaghovo9221@gmail.com

Ներկայացված են սալերի տարբեր հաստություններով, սյան հատվածքի չափերով, սալերի երկայնական ամրանավորման տոկոսներով և տարբեր դասի ամրաններով անհեծան ծածկերի կրողունակության հաշվարկներն ըստ ճզմանցման՝ կիրառելով պահանգ-ձգան մոդելը: Տվյալ մոդելով կատարված հաշվարկները համեմատվել են փորձերով ստացված արդյունքների հետ: Համեմատական վերլուծության արդյունքում ստացված տվյալները, վկայում են, որ տեսական և փորձնական ճզմանցման ուժերի արժեքների շեղումը բավականին փոքր է և մշակված պահանգ-ձգան մոդելը կարելի է կիրառել՝ անհեծան ծածկերի լարվածադեֆորմատիվ վիճակն ըստ ճզմանցման գնահատելու համար:

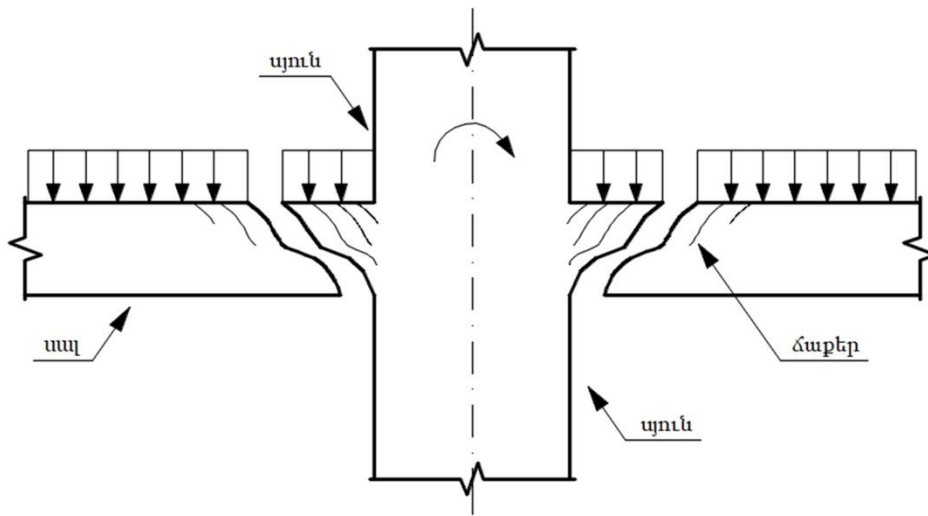
Առանցքային բառեր. երկաթբետոն, անհեծան ծածկեր, ճզմանցում, պահանգ-ձգան, լայնական ամրանավորում

Անհեծան ծածկերը լայնորեն տարածում են գտել քաղաքաշինության մեջ, քանի որ ունեն ազատ ճարտարապետական լուծումների հնարավորություն, տնտեսապես ու էկոլոգիապես շահավետ են:

Անհեծան ծածկով համակարգը երկու օրթոգոնալ ուղղություններով ամրանավորված երկաթբետոնե սալ է, որն անմիջապես հենված է սյուների վրա: Այդ համակարգը կիրառելի է ինչպես բնակելի, այնպես էլ հասարակական շենքերում: Այն ունի մի շարք առավելություններ՝ շենքի ամբողջ բարձրության նվազեցում, դյուրին շինարարություն, կադապարամածերի տեղադրման պարզեցված համակարգ և հարթ առաստաղ, որոնցից վերջինը նվազեցնում է առաստաղի հարդարման արժեքը [1, 2]:

Առանց լայնական ամրանավորման հարթ երկաթբետոնե սալերը (250...500 մմ հաստությամբ), հաճախ սեղմող ուժից և ծող մոմենտից, որոնք առաջանում են սյուների և սալերի միջև, ճզմանցման երևույթից ցուցաբերում են փխրուն քայքայում (նկ. 1): Պայմանական հաշվարկային մեթոդները ենթադրում են ճզմանցման պոտենցիալ քայքայում կենտրոնացված բեռնվածքների մոտակայքում: Հստակ որոշված կրիտիկական հատվածքներում շոշափող լարումները սահմանափակվում են, որպեսզի ապահովեն քայքայումից: 250 մմ -ից ավելի մեծ հաստությամբ և բարձր ամրության բետոն կիրառելու դեպքում անհեծան սալերի լայնական ամրանի որոշման համար անհրաժեշտ են այլ հաշվարկային մեթոդներ: Այդ մեթոդներից մեկը

հիմնված է պահանգ-ձգան մոդելի վրա, որը թույլ է տալիս գնահատել սալի կրողունակությունը ճզմանցման պահին [3]:



Նկ. 1. Ճզմանցման ընդհանուր սխեման

Հոդվածում ուսումնասիրվել և պահանգ-ձգան մոդելի հիման վրա մշակված մեթոդով հաշվարկվել են միաձույլ երկաթբետոնե 9 անհեծան ծածկի սալեր ամրանավորված երկայնական և լայնական ամրաններով: Դիտարկվել են սալերի տարբեր հաստություններով, հատվածքի չափերի սյուներով և տարբեր երկայնական ամրանավորման տոկոսներով դեպքեր: Որոշվել են առավելագույն համաչափ ազդող ճզմանցման ուժերը, և իրականացվել են համեմատական վերլուծություններ փորձերով ստացված արդյունքների հետ:

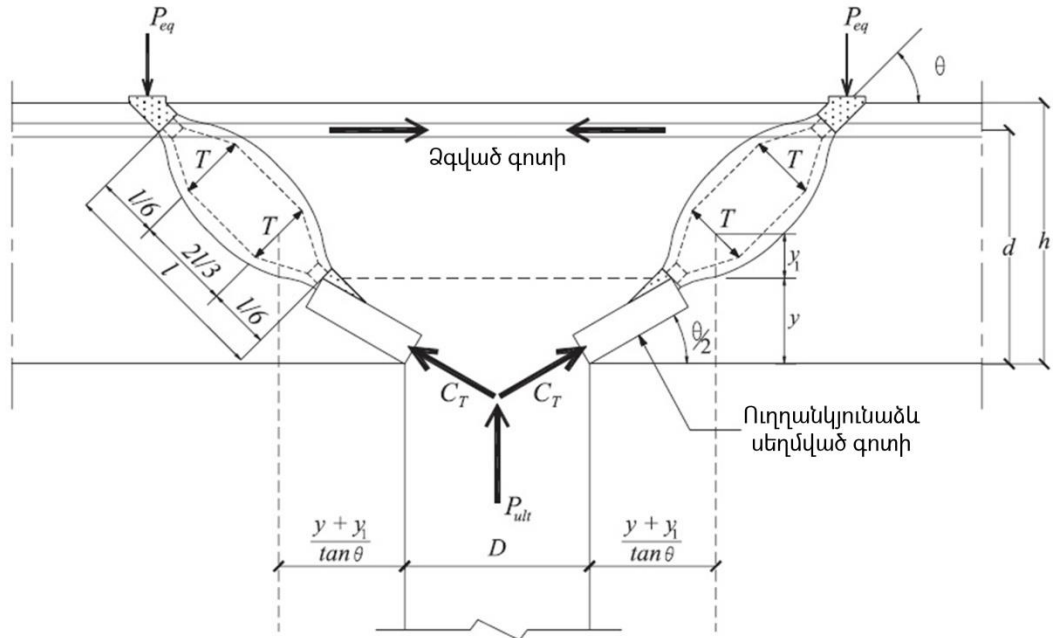
Հիմնվելով պահանգ-ձգան մոդելի վրա (նկ.2)՝ անհեծան ծածկերի սյան և սալի հատվածում գործող սահմանային ճզմանցման բեռնվածքները որոշվել են հետևյալ հաջորդականությամբ.

- չեզոք առանցքի խորության (y) որոշում,
- ճաքի հարակից գոտու թեք երկարության (l) որոշում,
- չեզոք առանցքից մինչև ստորին ձգող ուժի կենտրոնը եղած հեռավորության (y') որոշում,
- սալում ճաք առաջացնող բեռնվածքի (T) որոշում,
- սահմանային ճզմանցման բեռնվածքի (P_{ult}) որոշում,
- բնութագրիչ երկարության (l_{ch}) որոշում կամ ընդունում՝ համապատասխանաբար 500 մմ և 250 մմ՝ նորմալ և բարձր ամրության բետոնների համար,
- ճզմանցման նվազագույն ամրանավորման մակերեսը որոշելու համար՝ ֆերմայի կամ պահանգ-ձգան մոդելի կիրառում:

Մեղմող լարման գոտու բարձրությունը որոշվում է, հիմնվելով երկաթբետոնե ծովող տարրում չեզոք առանցքի դիրքից, առաձգական պայմանների վրա: Հիմք ընդունելով Շեհասայի կողմից [3] առաջարկվող հավասարումը առաձգապլաստիկ աշխատանքի դեպքում, չեզոք առանցքի խորությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$y = 0,67 (n\rho_e)^{1/2} \left(\frac{35}{f_c'} \right)^{1/2} d, \quad (1)$$

Որտեղ n -ը գործակից է, որը հավասար է E_s/E_c , E_s և E_c -ն պողպատի և բետոնի առաձգականության մոդուլներն են, f_c' -ը՝ բետոնի զլանային ամրությունը, ρ_e -ն՝ ամրանավորման գործակիցը 500 ՄՊա հոսունության սահմանով ամրանի համար:



Նկ. 2. Վերանշակված պահանգ-ձգան մոդելը բետոնե սալի համաչափ ճգմանցման դեպքում [3]

Համաձայն Շեհասայի հետազոտության [3], արդյունավետ ամրանավորման գործակիցը պողպատի հոսունության այլ արժեքների դեպքում կորոշվի հետևյալ բանաձևով՝

$$\rho_e = \rho (f_y / 500): \quad (2)$$

Ճաքի հարակից գոտու թեք երկարությունը և չեզոք առանցքից մինչև ստորին ձգող ուժի կենտրոնը եղած հեռավորությունը որոշվում են հետևյալ բանաձևերով՝

$$l = (d - y) / \sin\theta, \quad (3)$$

$$y_1 = l \sin\theta / 6: \quad (4)$$

Ճաք առաջացնող բեռնվածքը հնարավոր է որոշել, կախված երկրաչափական տեսքից, հետևյալ պայմանով.

$$T = 0,235 f_{sp,t} l \pi \left\{ D + 2 \left[\frac{(y + y_1)}{\tan\theta} \right] \right\}, \quad (5)$$

որտեղ y -ը սալում ծռումից սեղմված գոտու խորությունն է, l -ն՝ Ճաքի հարակից գոտում թեք երկարությունը (պահանգի երկարություն), որը որոշվում է՝ կիրառելով (3) բանաձևը, y_1 -ը չեզոք գոտուց մինչև ստորին ձգող ուժի կենտրոնը եղած հեռավորությունն է, որը որոշվում է (4) -ով,

$f_{sp,t}$ –ն բետոնի պառակտող ձգման ամրությունն է, D –ն՝ սյան տրամագիծը (քառակուսի սյան համար բանաձևում այն կփոխարինվի համարժեք կերպով նույն պարագծի համար՝ $D = 4c/\pi$):

Ճշգրտված պահանգ-ձգման մոդելում (նկ. 2) ներկայացված են համաչափ ճգմանցումից զարգացած վերջնական ուժի դաշտերը, որոնք զարգացել են համաչափ ճգմանցումից: Հավասարակշռության հավասարումները ստացվում են ուղղահայաց և հորիզոնական ուղղությամբ ուժերից, ինչպես նաև ծռող մոմենտներից, որոնք առաջանում են առանձին ուժերից, հեռացված սյան առանցքից որոշակի հեռավորության վրա: Ուղղահայաց ուղղությամբ հավասարակշռության հավասարումը որոշվում է ըստ P_{ult} սահմանային ճգմանցման բեռնվածքի, որը կարող է որոշվել բետոնի առավելագույն լարումից (f_{cu}), ինչն ազդում է կոնաձև թաղանթե պահանգի միավոր լայնության վրա [3, 4]: Այս P_{ult} ուժը կարող է դիտարկվել որպես C_T սեղմող ուժ, որն ազդում է կլոր հատվածքի սյան շրջագծի մոտ և հավասար է կոնաձև թաղանթե պահանգի շրջագծի մակերեսի ու պահանգում բետոնի թույլատրելի առավելագույն ամրության արտադրյալին:

Բաշխված բեռնվածքը կարելի է փոխարինել համարժեք կենտրոնացվածով: Ներկայացված է ճգմանցման թեք ճաքը, որը զարգանում է վերին մակերևույթից θ անկյան տակ և ձևավորում է կրիտիկական հատվածք: Սալի ճգմանցումը տեղի է ունենում այն ժամանակ, երբ բետոնը սահմանային քայքայման գոտում կորցնում է իր կրողունակությունը բետոնի բարձր սեղման լարման դեպքում: Սովորական բետոնների դեպքում փորձերով որոշված թեքման անկյունը (θ) տատանվում է $(26...30)^\circ$ -ում, մինչդեռ բարձր ամրության բետոնների համար այդ անկյունը փոփոխվում է $(32...38)^\circ$ -ով: 2006թ. Հեգեռի կատարած փորձերը [3] բոլոր փորձարկված նմուշների դեպքում ցույց տվեցին, որ քայքայվող կոնի անկյունը հավասար է 45° :

Կոնաձև թաղանթե պահանգում սեղմող ուժը կարելի է որոշել հետևյալ պայմանից՝

$$C_T = \frac{P_{ult}}{\sin\theta / 2} = \left[\pi \left(D + \frac{2y}{\tan\theta} \right) \frac{y \sin\theta / 2}{\sin\theta} \right] f_{cu} : \quad (6)$$

Չափի ազդեցությունը հաշվի առնելու համար (6) հավասարումը կարելի է ձևափոխել և ներկայացնել հետևյալ ձևով՝

$$C_T = \frac{P_{ult}}{\sin\theta / 2} = \left[\pi \left(D + \frac{2y}{\tan\theta} \right) \frac{y \sin\theta / 2}{\sin\theta} \right] f_{cu} (l_{ch} / h)^{0.33} , \quad (7)$$

որտեղ l_{ch} –ը երկարությունը հնարավոր է որոշել հետևյալ կերպ.

$$l_{ch} = E_c G_f / f_{ct}^2 , \quad (8)$$

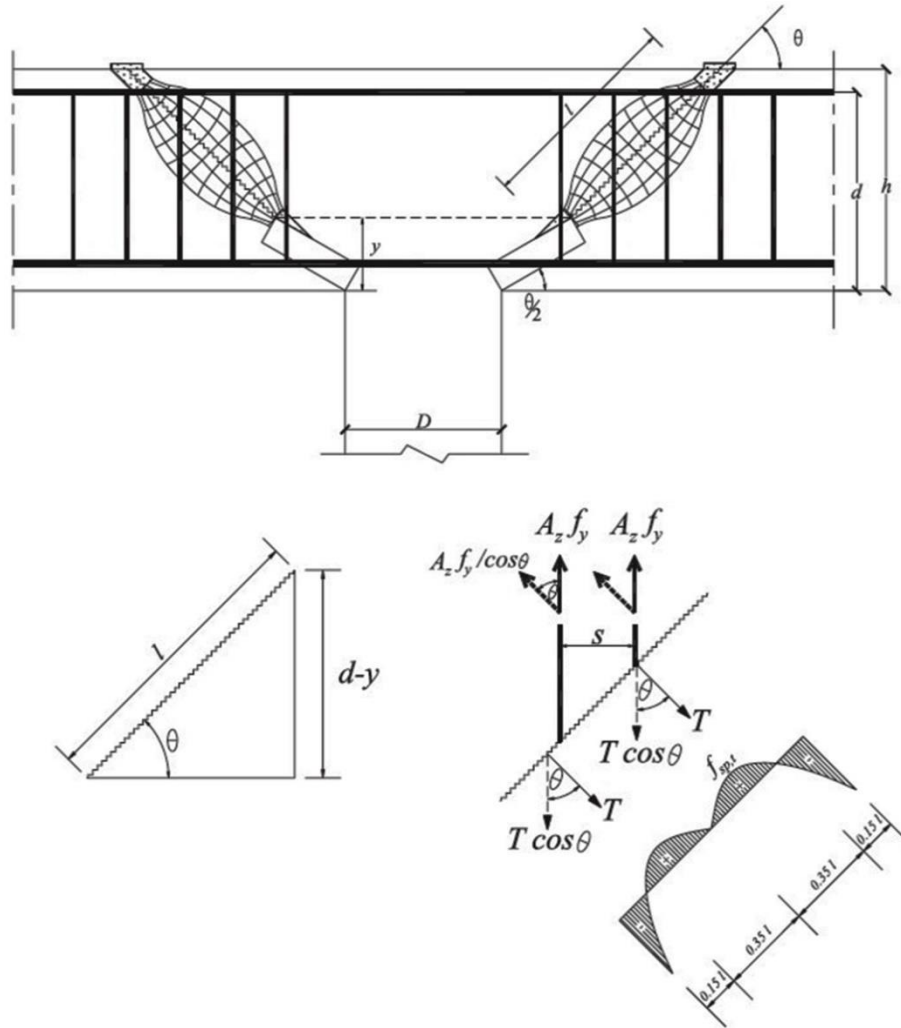
որտեղ G_f –ը էներգիայի արժեքն է քայքայման փուլում, f_{ct} –ն՝ բետոնի ձգման դիմադրությունը:

(7) պայմանից կարելի է որոշել P_{ult} –ը.

$$P_{ult} = \pi \left(D + \frac{2y}{\tan\theta} \right) \frac{y \sin\theta / 2}{\sin\theta} f_{cu} (l_{ch} / h)^{0.33} : \quad (9)$$

Միավոր լայնությամբ սալի դեպքում նվազագույն ամրանավորման մակերեսը (նկ.3) կարելի է որոշել.

$$A_{z,min} = \rho_{z,min} l \cot \theta : \quad (10)$$



Նկ. 3. Նվազագույն լայնական ամրանով սյան և սալի հանգույցը, իրականացված պահանգ-ձգան մոդելի հիման վրա [3]

Ստացվում է, որ ձգմանցման նվազագույն ամրանավորման տոկոսը հնարավոր է որոշել՝

$$\rho_{z,min} = 0,52 \frac{f_{ctm}}{f_y} \sin \theta \frac{1}{(l_{ch} / h)^{0.33}} : \quad (11)$$

Այն դեպքում, երբ աճում է բետոնի սեղմման ամրությունը, աճում է նաև թեք ճաքի բեռնվածքը և ձգման ամրությունը, ինչը բերում է նաև ամրանավորման քանակի աճի: Փորձերը ցույց են տալիս, որ անհրաժեշտ է մեծացնել լայնական ամրանավորման նվազագույն մակերեսը, քանի որ աճում է բետոնի ամրությունը կանխելու հանկարծակի ձգմանցման հնարավորությունը թեք ճաքի առաջացման դեպքում: Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ առաջարկված մոդելների կիրառումը բերում է լրացուցիչ ապահովության, քանի որ այս եղանակով ստացված

արդյունքները տալիս են լայնական ամրանավորման ավելի բարձր արժեքներ՝ համեմատ մյուս կիրառվող եղանակների [3, 5]:

Այսպիսով, պահանգ-ձգան մոդելի հիման վրա կատարված հաշվարկների և Մարզուկի ու Հուսեինի կողմից իրականացված փորձերի [3] արդյունքները բերված են աղյուսակում:

Աղյուսակ

Սահմանային բեռնվածքների և փորձնական արդյունքների համեմատություն

Սալի անվանում	Աշխատանքային բարձրություն (d), <i>մմ</i>	Սյան տրամագիծ (D), <i>մմ</i>	Երկայնական ամրանավորման տոկոս (ρ), %	Ամրանի հոսունության սահման (F), <i>ՄՊա</i>	Բետոնի զլանային սերման ամրություն (f_c), <i>ՄՊա</i>	Մեղմված գոտու բարձրություն (γ), <i>մմ</i>	Փորձով ստացված ճզմանցման արժեք (V_{test}) [3], <i>կՆ</i>	Պահանգ-ձգան մեթոդով ստացված ճզմանցման արժեք (P_{ult}), <i>կՆ</i>	Տեսական և փորձնական արժեքների շեղումները, %
HS3	262,5	509	1,44	400	65,4	46,9	2090	2072,35	0,8
HS4	90,0	191	2,37	490	66,0	22,1	418	463,50	9,8
HS9	120,0	191	1,61	490	74,0	22,3	543	475,90	12,3
HS10	120,0	191	2,33	490	80,0	25,3	645	595,90	7,6
HS11	70,0	191	0,95	490	70,0	10,4	196	212,60	7,8
HS14	95,0	280	1,47	490	72,0	17,2	498	495,50	0,6
HS15	95,0	382	1,47	490	71,0	17,4	560	648,30	13,6
NS1	95,0	191	1,47	490	42,0	25,8	320	380,30	15,8
NS2	120,0	191	0,94	490	30,0	33,5	396	379,10	4,2

Աղյուսակում ստացված արժեքներից կարելի է նկատել, որ բարձր ճշտությամբ արդյունքը ստացվել է HS14 սալի համար, որի դեպքում փորձով և պահանգ-ձգան մոդելի հիման վրա ստացված սահմանային ճզմանցման ուժերի շեղումը կազմում է ընդամենը 0,6%: Միջին ճշտությամբ արդյունքը ստացվել է HS11 սալի համար, որի դեպքում այդ շեղումը կազմում է 7,8%, իսկ ցածր ճշտությամբ արդյունքը ստացվել է NS1 սալի համար՝ 15,8 %:

Եզրակացություն

Համեմատական վերլուծության արդյունքում պահանգ-ձգան մոդելի հիման վրա կատարված հաշվարկների առավելագույն շեղումը փորձերի տվյալների համեմատ կազմում է 0,6...15,8% : Այստեղ ներկայացված տեսական մոդելը լիարժեք ներկայացնում է սյան և սալի

հանգույցի ֆիզիկական վարքը: Հաշվարկային հետազոտությունները ցույց տվեցին, որ պահանգ-ձգան մոդելը տալիս է լավ արդյունք ինչպես նորմալ, այնպես էլ բարձր ամրության բետոնների համար՝ ցածր ու բարձր ամրանավորման գործակիցների դեպքում: Հետևաբար, պահանգ-ձգան մոդելը մյուս եղանակների հետ համատեղ կարող է ծառայել որպես պարզ և ճշգրիտ մոդել սալի ճգնանցման կրողունակությունը գնահատելու համար:

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БЕЗБАЛОЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ РАСПОРКИ И ТЯГИ

Оганес Арменович Авакян

Национальный Университет Архитектуры и Строительства Армении, г.Ереван, РА
avaghovo9221@gmail.com

Представлены расчеты прочности плоских плит под продавливанием с разными толщиной, размерами поперечных сечений, процентом продольной арматуры плиты и различными классами стальных арматур с использованием модели распорок и тяг. Проведено сравнение выполненных расчетов с использованием модели распорки и тяги с результатами испытаний.

Данные сравнительных анализов показали, что отклонения теоретических данных предельных усилий на продавливание по сравнению с результатами испытаний невелики, поэтому разработанная модель распорки и тяги может использоваться для оценки напряженно-деформированного состояния плоской плиты на продавливание.

Ключевые слова: железобетон, безбалочные конструкции, продавливание, модель распорки и тяги, поперечное армирование

STRESS-STRAIN STATE ESTIMATION OF FLAT PLATE USING STRUT-AND-TIE MODEL

Hovhannes Avagyan

National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan, RA
avaghovo9221@gmail.com

The flat plate strength calculations under punching shear with different thicknesses, sizes of cross sections, flexural reinforcement percent of slabs and different grades of steel bars using strut-and-tie are given. The implemented calculations using strut-and-tie model with test results were compared.

Comparative analysis data showed that the deviation of ultimate punching forces from theoretical and testing results are slight, consequently the developed strut-and-tie model may be used to estimate the stress-strain state of flat plate under punching shear.

Keywords: reinforced concrete, flat plate, punching shear, strut-and-tie model, shear reinforcement

Գրականություն

1. **Fanella D.A.** Reinforced Concrete Structures. Analysis and Design: 2nd Edition. – Washington: McGraw-Hill Education, 2016. - 964 p.
2. **Дорфман А.Э., Левонтин Л.Н.** Проектирование безбалочных бескапитальных перекрытий. – М.: Стройиздат, 1975. - 128 с.
3. **Marzouk H., Rizk E., Tiller R.** - Design of shear reinforcement for thick plates using strut-and-tie model // Canadian Journal of Civil Engineering. – 2010. - № 37(2). - P. 181-194.
4. **Tiller W.R.** Strut-and-tie model for punching shear of concrete slabs – Newfoundland: St. John’s Publ., 1995. - 103 p.
5. **Мордич А.И., Белевич В.Н., Навой Д.И., Мордич Д.М.** О влиянии рабочей арматуры железобетонных плит на их сопротивление продавливанию// Наука и Техника. – 2007. - № 6. - С. 5-16.

References

1. Fanella, D.A. (2016), *Reinforced Concrete Structures. Analysis and Design*, 2nd Edition. Washington, McGraw-Hill Education, 964 p.
2. Dorfman, A.E., Levontin, L.N. (1975), *Proektirovanie bezbalochnik bezkapitelnykh perekritiy* [*Design of flat plate systems*]. Moscow, Stroyizdat Publ., 128 p. (in Russian).
3. Marzouk, H., Rizk, E., Tiller, R. (2010), “Raschet poperechnoy armature dlya ploskikh плит ispolzuya model rasporok i tyag” [Design of shear reinforcement for thick plates using strut-and-tie model]. *Canadian Journal of Civil Engineering*, no. 37(2), pp. 181-194.
4. Tiller, W.R. (1995), *Strut-and-tie model for punching shear of concrete slabs*. Newfoundland, St. John’s Publ., 103 p.
5. Mordich, A.I., Belevich, V.N., Navoy, D.I., Mordich, D.M. (2007), “O wliyanii rabochey armaturi jelezobetonnykh плит na ikh soprativlenie prodavlivaniyu” [The Influence of Steel Bar on Reinforced Concrete Slabs under Punching Shear]. *Nauka i Tekhnika [Science and Technology]*, no. 6, pp. 5-16. (in Russian).

Ավագյան Հովհաննես Արսենի (ՀՀ, ք.Երևան) - ՃՇՀԱՀ, Շինարարական կոնստրուկցիաներ ամբիոն, ասիստենտ, ասպիրանտ, (+374)96110023, (+374) 94110023, avaghovo9221@gmail.com
Авакян Оганес Арменович (РА, г.Ереван) - НУАСА, кафедра Строительных конструкций, ассистент, аспирант, (+374)96110023, (+374) 94110023, avaghovo9221@gmail.com
Avagyan Hovhannes (RA, Yerevan) - NUACA, chair of Building Structures, assistant, PhD student, (+374) 96110023, (+374) 94110023, avaghovo9221@gmail.com

Ներկայացվել է՝ 17.10.2018թ.

Ընդունվել է տպագրության՝ 25.10.2018թ.