

ТАҲҚИҚИ ҲОЛАТИ ШИДДАТНОКИЮ – ДЕФОРМАЦИЯШАВИИ КОНТУРҲОИ ИНШООТҲОИ ЗЕРИЗАМИНИИ МАҲКАМКАРДАШУДА БО МЕТОДИ МУОДИЛАҲОИ ИНТЕГРАЛИИ КАНОРӢ

С.С. Зарифов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Дар мақола ҳолати шиддатнокию-деформацияшавии контурҳои иншооти зеризаминӣ бо крепи сарбаст набуда аз таъсири гуногун дар асоси методи муодилаҳои интегралӣ канорӣ тадқиқ карда мешавад. Барои ҳалли масъалаи таъсири ҳамдигарии иншооти маҳкамкардашудаи зеризаминӣ бо массиви чинсҳо дар шароити деформатсияи ҳамвор алгоритм коркард шудааст ва модели математикӣ пешниҳод карда мешавад. Дар натиҷаи аппроксимонии параметрҳои канорӣ системаҳои муодилаҳои ҳалшаванда ба даст оварда шудаанд. Аз ҳалли ин системаҳои муодилаҳо ҳолати шиддатнокию-деформацияшавии контурҳои иншооти зеризаминӣ аз таъсири гуногун муайян карда мешаванд.

Калидвожаҳо: контур, креп, тоннель, коркард, саҳади васлӣ, концентратсияи шиддатҳо, моделсозӣ, массиви чинсҳои кӯҳӣ.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО – ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНТУРОВ ПОДКРЕПЛЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ ГРАНИЧНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

С.С. Зарифов

В статье исследуется напряжённо-деформированное состояние контуров подземных сооружений с незамкнутой крепью от различных воздействий на основе метода граничных интегральных уравнений. Разработан алгоритм и предлагается математическая модель решения задач взаимодействия подкреплённых подземных сооружений с массивом пород в условиях плоской деформации. В результате аппроксимации граничных параметров получены системы разрешающих уравнений. Из решения этих систем уравнений определяется напряжённо-деформированное состояние контуров подземных сооружений от различных воздействий.

Ключевые слова: контур, креп, тоннель, выработка, контактная граница, концентрация напряжений, моделирование, массив горных пород.

STUDY OF STRESS-STRAIN STATE OF CONTOURS OF REINFORCED UNDERGROUND STRUCTURES BY THE METHOD OF BOUNDARY INTEGRAL EQUATIONS

S.S. Zarifov

The article examines the stress-strain state of the contours of underground structures with open support from various impacts based on the method of boundary integral equations. An algorithm has been developed and a mathematical model has been proposed for solving problems of interaction between reinforced underground structures and a rock mass under conditions of plane deformation. As a result of approximation of boundary parameters, systems of resolving equations were obtained. From the solution of these systems of equations, the stress-strain state of the contours of underground structures from various impacts is determined.

Keywords: contour, fortification, tunnel, working, contact boundary, stress concentration, modeling, rock mass.

Муқаддима

Масъалаҳои, ки бо омӯхтани ҳолати шиддатнокию – деформацияшавии контурҳои иншооти зеризаминии бе креп ва бо креп, ки дар чуқурии ба қадри кофӣ калон ҷойгир шудаанд, амалан манфиатнок мебошанд. Қобилияти борбардории чунин иншоот одатан бо ҳолати шиддатнокӣ ва шартҳои мустаҳкамӣ дар ҷойҳои концентратсияи шиддатҳо нишон дода мешавад. Барои баҳодиҳии мустаҳкамӣ ва сахтии онҳо шиддатҳо ва деформацияҳоро дар минтақаҳои концентратсияи шиддатҳо муайян кардан лозим аст. Концентратсияи шиддатҳо, ин падидаи пайдоиши зиёдшавии шиддатҳои маҳаллӣ дар минтақаҳои тағирёбии якбораи шакли ҷисми чандир мебошад. Концентратсияи шиддатҳо дар минтақаҳои кунҷӣ, дар ҷойҳое, ки буриши арзии конструксия аз як намуд ба намуди дигар мегузарад, ҳангоми кам шудан ё зиёд шудани андозаи конструксия, дар ҷойҳое, ки маводди бегона ворид мешавад, дар он ҷойҳое, ки ҷокҳо, заифӣҳо, буридагӣҳо, сӯрохӣҳо, тарқишҳо дар сатҳи конструксия, инчунин дар ҷойҳои пайваستшавии ҷузвҳо, ба амал меоянд.

Моделсозӣ

Ҳалли масъалаи васлии таъсири мутақобилаи креп бо массиви чинсҳоро бо методи муодилаҳои интегралӣ канорӣ дида мебароем. Тартиби сохтани модели математикиро дар мисоли крепи сарбаст набудаи шакли ихтиёридоштаи нақби дар чуқурии зиёд ҷойгиршударо дида мебароем (расми 1). Фарз карда мешавад, ки креп бо соҳаи дохилии Ω_0 ва контури $S_0 = S_{00} + S_{01} + 2\Delta$, ки дар ин ҷо $\Delta = b - a$ ғафсии креп дар қисми истинодгоҳӣ (паҳноии пошна) мебошад, ҳам дар пошнаи коркард ва ҳам дар контури беруна дар бадани массиви деформацияшавандаи Ω_1 пайванд шудааст.

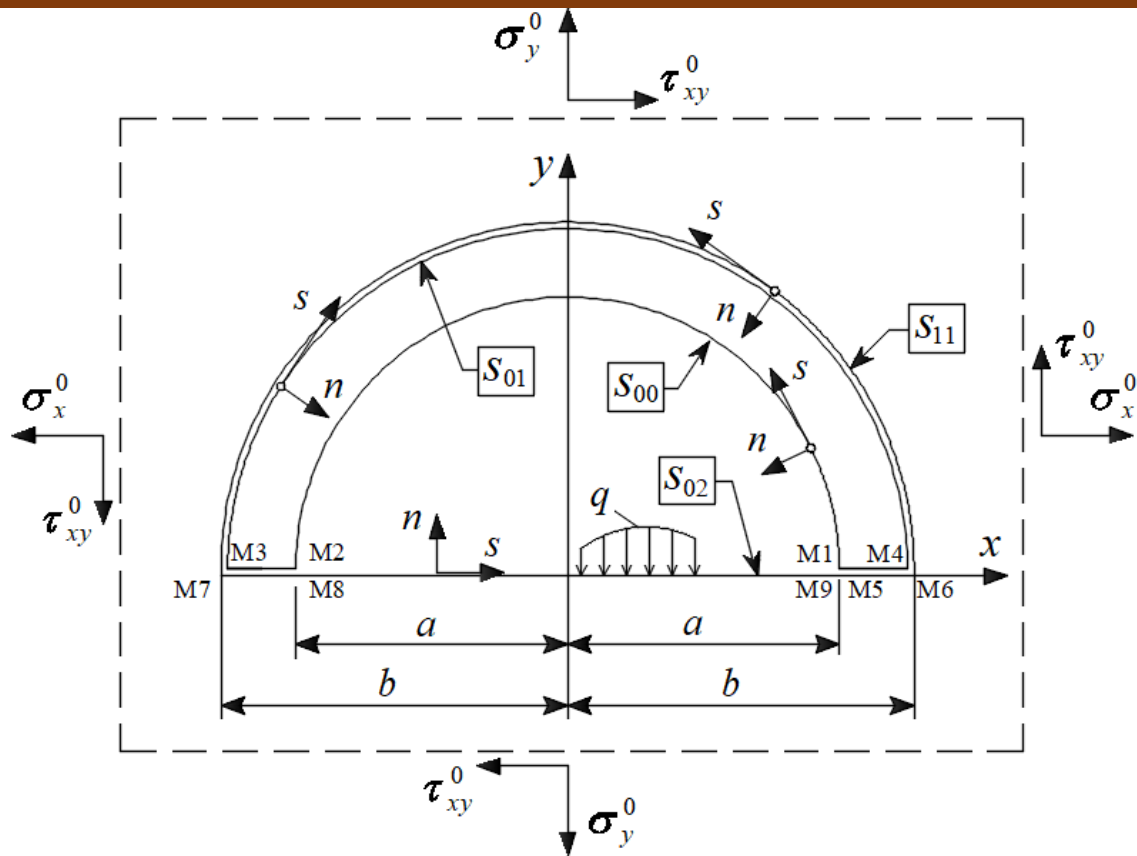


Рис. 1 – Модели численной массы таъсири ҳамдигарии крепи сарбаст набуда бо массиви чинс

Ишораҳои зеринро ворид мекунем: M1,...,M4 – нуқтаҳои кунҷӣ дар контури креп; M5,...,M8 – нуқтаҳои хос дар сарҳади васлии (контактӣ) массив S₁₁; M8, M9 – нуқтаҳои канорагии контури озоди пошнаи коркард S₀₂. Дар ҳудуди нуқтаҳои нишондодашуда дискретикунони контурҳоро бо элементҳои канории тартиби сифри иҷро мекунем. Он гоҳ, барои модели баррасишаванда муодилаҳои интегралӣ канорӣ [1-4], ки ба контурҳои креп, сарҳади васлии массив ва пошнаи коркард мувофиқанд, дар шакли зерин ифода карда мешаванд:

1) дар контурҳои креп

$$\sum_{j=M1}^{M4} a_{ij}^* u_{xj} + \sum_{j=M1}^{M4} b_{ij} u_{yj} - \sum_{j=M2}^{M4} e_{ij} p_{xj} - \sum_{j=M2}^{M4} f_{ij} p_{yj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} a_{ij} u_{xj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} b_{ij} u_{yj} =$$

$$= - \left(\sum_{j=M1}^{M4} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=M1}^{M4} f_{ij} p_{yj}^0 + \sum_{j=M8}^{M9-1} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=M8}^{M9-1} f_{ij} p_{yj}^0 \right), \quad (i = M1, \dots, M4); \quad (1)$$

2) дар сарҳади васлии массиви чинс

$$\sum_{j=M7}^{M5} a_{ij}^* u_{xj} + \sum_{j=M7}^{M5} b_{ij} u_{yj} + \sum_{j=M7}^{M5} e_{ij} p_{xj} + \sum_{j=M7}^{M5} f_{ij} p_{yj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} a_{ij} u_{xj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} b_{ij} u_{yj} =$$

$$= - \left(\sum_{j=M7}^{M5} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=M7}^{M5} f_{ij} p_{yj}^0 + \sum_{j=M8}^{M9-1} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=M8}^{M9-1} f_{ij} p_{yj}^0 \right), \quad (i = M5, \dots, M7); \quad (2)$$

3) дар пошнаи коркард

$$\sum_{j=M7}^{M5} a_{ij} u_{xj} + \sum_{j=M7}^{M5} b_{ij} u_{yj} + \sum_{j=M7}^{M5} e_{ij} p_{xj} + \sum_{j=M7}^{M5} f_{ij} p_{yj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} a_{ij}^* u_{xj} + \sum_{j=M8}^{M9-1} b_{ij} u_{yj} =$$

$$= - \left(\sum_{j=M7}^{M5} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=M7}^{M5} f_{ij} p_{yj}^0 + \sum_{j=M8}^{M9-1} e_{ij} p_{xj}^0 + \sum_{j=M8}^{M9-1} f_{ij} p_{yj}^0 \right), \quad (i = M8, \dots, M9-1). \quad (3)$$

Дар сарҳади васлӣ шартҳои бефосилагӣ иҷро мешаванд, ки ба таври зерин навишта мешаванд:

$$u_x^{01} = u_x^{11}, \quad u_y^{01} = u_y^{11}, \quad p_x^{01} = -p_x^{11}, \quad p_y^{01} = -p_y^{11}, \quad (4)$$

дар ин ҷо индексҳои болоии 01 ва 11 мувофиқан ба гиреҳҳои элементҳои канорӣ дар сарҳадҳои васлӣ S_{01} ва S_{11} дахл доранд. Дар асоси шартҳои муштараки ва мувозинат (4), муодилаҳои (1)-(3) – ро ба як системаи муодилаҳои ҳалшаванда якҷоя мекунем, ки онро дар шакли матритсавӣ нишон додан мумкин аст [4]

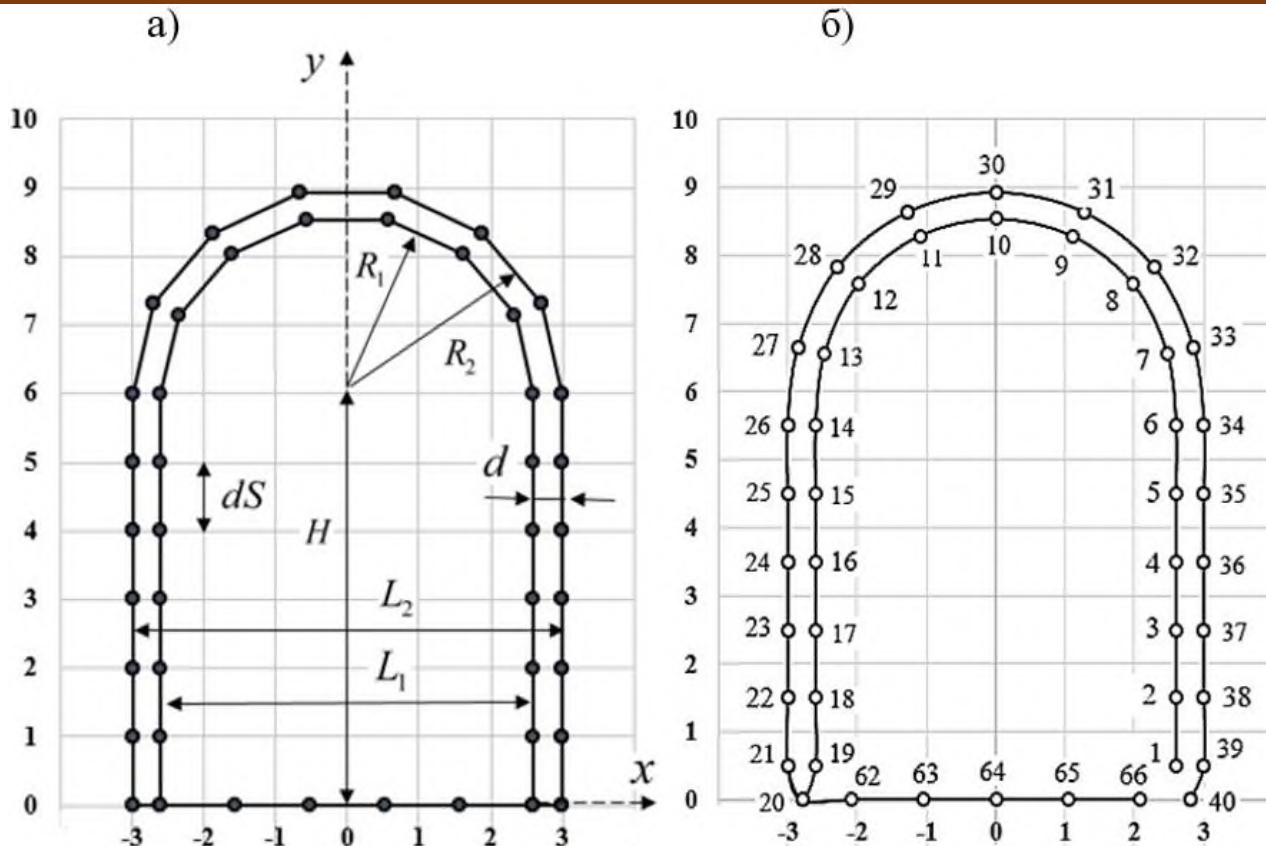
$$\begin{bmatrix} A_{01} & -E_{01} & A_{02} \\ A_{11} & E_{11} & A_{12} \\ A_{21} & E_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} W_1 \\ P_1 \\ W_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} E'_{01} & E_{02} \\ E'_{11} & E_{12} \\ E'_{21} & E_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_1^0 \\ P_2^0 \end{Bmatrix}, \quad (5)$$

$$W_1 = (U_{x0} \ U_{y0}), \quad P_1 = (P_{x1} \ P_{y1}), \quad W_2 = (U_{x2} \ U_{y2}),$$

дар ин ҷо A_{01}, E_{11}, A_{22} – матритсаҳои квадратии тартиби $2N_0, 2N_{01}, 2N_{02}$ ба таври мувофиқ, ки дар ин ҷо N_0 – шумораи элементҳо дар контурҳои креп, N_{01} – шумораи элементҳо дар сарҳади васлӣ, N_{02} – шумораи элементҳо дар контури пошнаи коркард S_{02} . Векторҳои U_{x0}, U_{y0} мувофиқан аз N_0 компонентҳои ҷойивазкунӣ u_{xj}, u_{yj} иборатанд, векторҳои U_{x2}, U_{y2} бошад N_{02} элементро дар бар мегиранд. Векторҳои P_{x1}, P_{y1} аз N_{01} компонентҳои шиддатҳои сатҳӣ дар сарҳади васлӣ S_{01} иборатанд. Системаи муодилаҳои пешниҳодшудаи (5) тартиби $2(N_0 + N_{01} + N_{02})$ имкон медиҳанд консентратсияи шиддатҳоро дар контурҳои креп, сарҳади васлӣ ва пошнаи коркард таҳқиқ кунем.

Ҳамин тавр, дар асоси методи муодилаҳои интегралӣ канорӣ модели математикӣ ва алгоритми ҳисоб оиди таъсири мутақобилаи иншооти зеризаминӣ бо фазои чандир дар шароитҳои деформатсияи ҳамвор кор карда баромада шуд.

Мисол. Ба сифати мисол, крепи росткунҷаи тоқдори сарбаст набуда, дар зери таъсири шиддатҳои фишороварандаи уфуқӣ ва амудӣ σ_x^0, σ_y^0 дида баромада мешавад. Шакл ва андозаҳои буриши арзии креп дар расми 2 нишон дода шудаанд. Натиҷаҳои ҳалли ададӣ бо додашудаҳои зерин ба даст оварда шуданд: $L_2 = 6.0\text{м}, L_1 = 5.2\text{м}, R_1 = 2.6\text{м}, R_2 = 3.0\text{м}, H = 6.0\text{м}, E_0 = 3 \cdot 10^4 \text{МПа}, \nu_0 = 0.2, E_1 = 3 \cdot 10^3 \text{МПа}, \nu_1 = 0.33$, дар ин ҷо E_0, ν_0, E_1, ν_1 , модули чандирӣ ва коэффисиенти Пуассони креп ва массиви чинс ва ҳангоми тақсимот, ки дар он $N_0 = 40, N_{01} = 21, N_{02} = 5$ (расми 2). Дар айни ҳол элементҳои 1-19 ба сатҳи дохилии креп М1-М2 дахл доранд, элементҳои 20-40 ба сатҳи васлии креп, элементҳои 41-61 ба сатҳи васлии массиви чинс, элементҳои 62-66 ба сатҳи пошна.



Расми 2 – Нақшаи тақсироти контурҳои креп ва коркард дар соҳаи беохир: а) координатаҳои элементҳои канорӣ, б) координатаҳои маркази элементҳо.

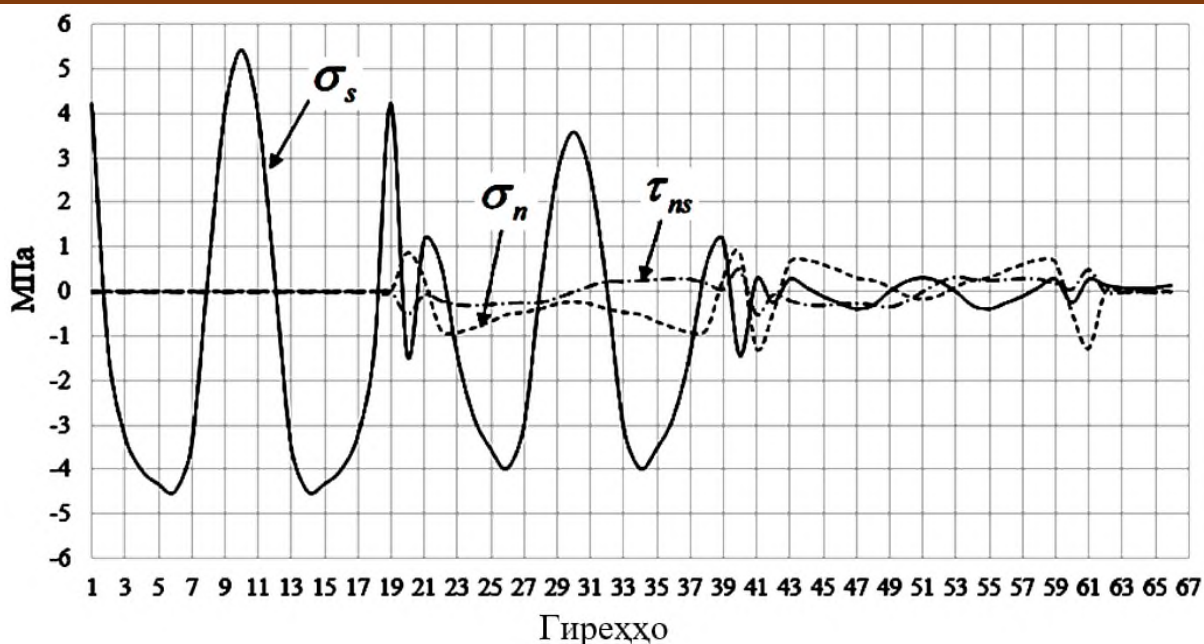
Тақсироти шиддатҳо дар контурҳои системаи «креп-массив» аз таъсири $\sigma_x^0 = -0.1$ МПа, $\sigma_y^0 = -0.2$ МПа дар расми 3 нишон дода шудааст, ва аз ин ҷо бармеояд, ки шиддатҳои нормалии калонтарин лар элементҳои васлии 20 ва 23 ба вуҷуд меоянд. Консентратсияи шиддатҳои тангенсалии дар минтақаҳои кунҷи дида мешаванд, ки дар ин нуқтаҳои кунҷи онҳо ба беохир майл мекунанд, шиддатҳои тангенсалии калонтарини ёзанда бошад дар нуқтаҳои калидии арка пайдо мешаванд. Аз рӯи қиматҳои ёфташудаи шиддатҳои нормалии тангенсалии σ_s дар контурҳои дохилии ва берунии креп қувваҳои дохилии – моментҳои ҳамшавӣ M ва қувваҳои нормалӣ N – ро дар ҳар як буриши арзии креп бо формулаҳои зерин муайян кардан мумкин аст:

$$M = \frac{l \cdot d^2}{12} \cdot (\sigma_s^{\text{дохилии}} - \sigma_s^{\text{беруни}}); \quad N = \frac{l \cdot d}{2} \cdot (\sigma_s^{\text{дохилии}} + \sigma_s^{\text{беруни}}), \quad (6)$$

дар ин ҷо d ва l – ғафсӣ ва дарозии 1 метри тӯлонии креп, масалан дар буриши 6-34 (расми 2б ва 3)

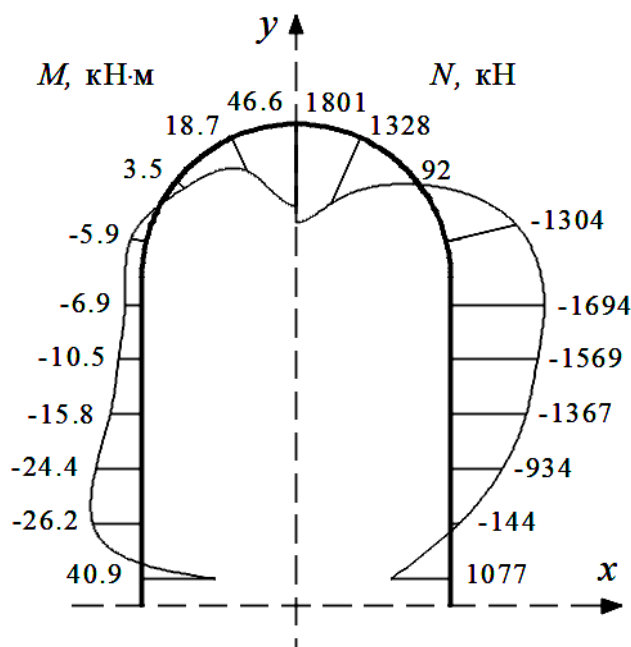
$$M = \frac{1 \cdot 0.4^2}{12} \cdot (-4.4945 + 3.9766) = -0.00691 \text{ МН} \cdot \text{м} = -6.91 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$N = \frac{1 \cdot 0.4}{2} \cdot (-4.4945 - 3.9766) = -1.694 \text{ МН} = -1694 \text{ кН}.$$



Расми 3 – Тақсимои шиддатҳо дар контурҳои қреп ва коркард

Дар расми 4 эпюраҳои моментҳои ҳамшавӣ ва қувваҳои нормалӣ аз таъсири шиддатҳои фишороваранда нишон дода шудаанд. Аз расми 4 бармеояд, ки хатарноктарин буришҳои қреп буришҳое мебошанд, ки ба қисми истинодгоҳ ва маркази арка наздиктар ҷойгир шудаанд, зеро дар ин буришҳо моменти ҳамкунандаи максималӣ ба амал меояд. Қувваҳои максималии нормалии кашишхуранда N дар буришҳои наздик ба қисми истинодгоҳ ва дар нуқтаи калидии арка ва қувваҳои фишурда дар буриши 6-34 ба амал меоянд.



Расми 4 – Эпюраҳои қувваҳои дохилӣ дар буришҳои қреп

Хулоса

Алгоритми метод хеле универсалӣ буда, барои барномасозӣ мувофиқ аст. Барои ҳалли масъалаи пешниҳодшуда барномаи компютерӣ дар забони ФОРТРАН сохта шудааст. Дар асоси натиҷаҳои ба даст овардашуда хулоса баровардан мумкин аст, ки методикаи пешниҳодшударо барои ҳалли масъалаҳои

иншооти зеризаминии шаклҳои гуногуни буриши арзӣ дошта бо крепи сарбаст набуда, ки бо массиви чинсҳои таъсири мутақобила дорад истифода бурдан мумкин аст.

Муқарриз: Иқромов И.И. – н.и.т., дотсент, мудири қабедраи механикаи сохтмон ва иншоотҳои гидротехники ДАИТ ба номи Ш. Шотемур

Адабиёт

1. Низомов Д.Н. Метод граничных уравнений в решении статических и динамических задач строительной механики. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2000, 282с.
2. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Ходжибоев О.А. Метод граничных уравнений в решении двумерных задач теории упругости. – Душанбе: Дониш, 2019, 435 с.
3. Зарифов С.С. Численное исследование концентрации напряжений на контурах подземных сооружений методом граничных уравнений: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Душанбе 20019, 23 с.
4. Низомов Д.Н., Ходжибоев А.А., Зарифов С.С. Концентрация напряжений на контуре незамкнутой крепи // Изв. АН РТ.-2012. -№2.- Вып. 147.- С. 58-63.
5. Зарифов С.С., Саидов Р.Р. Муминов И.С. Исследование напряженно – деформированного состояния контуров подземных сооружений методом граничных уравнений // Политехнический Вестник №2. ТТУ, 2024. - С.143-148.

МАЪЛУМОТ ОИД БА МУАЛЛИФ - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ - INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Зарифов Сирочиддин Садриддинович	Зарифов Сироджиддин Садриддинович	Zarifov Sirojiddin Sadriddinovich
Номзади илмҳои техники	Кандидат технических наук, старший преподаватель	Candidate of technical sciences, senior lecturer
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi,
E-mail: zarifovsirojidin@gmail.com		