



ENGINEER

international scientific journal

SPECIAL ISSUE

E-ISSN

3030-3893

ISSN

3060-5172



SLIB.UZ
Scientific library of Uzbekistan



A bridge between science and innovation



**TOSHKENT DAVLAT
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state
transport university



ENGINEER

A bridge between science and innovation

E-ISSN: 3030-3893

ISSN: 3060-5172

SPECIAL ISSUE

16-february, 2026



engineer.tstu.uz

**ABDURAXMON ASIMOVICH ISHANXODJAYEV TAVALLUDINING
85 YILLIGIGA BAG‘ISHLANGAN
“TRANSPORT INSHOOTLARI: ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALAR,
SEYSMIK BARQARORLIK”
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI
ILMIY ISHLARI TO‘PLAMI**

Toshkent davlat transport universiteti texnika fanlari doktori, professor, transport qurilishi sohasida taniqli olim, fan va texnika sohasidagi Abu Rayhon Beruniy nomli O‘zbekiston Davlat mukofoti laureati, “Shuxrat belgisi” ordeni, “Sharafli mehnati uchun” medali, “Oliy talim fidoiysi”, Oliy talim alochisi”, “SSSR ixtirochisi”, “Yo‘l ustalarning ustozlari”, “Seysmik xavfsizlik sohasi alochisi” ko‘krak nishonlari sohibi **Abduraxmon Asimovich Ishanxodjayev tavalludining 85 yilligiga bag‘islangan “Transport inshootlari: zamonaviy texnologiyalar, seysmik barqarorlik”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya ilmiy ishlari to‘plami chop etildi.

Abduraxmon Asimovich 100 dan ortiq ilmiy asarlar, shu jumladan, 2 ta monografiya, 2 ta darslik, 18 ta chet elda chop etilgan ilmiy maqola va ishlab chiqarishga tadbiriq etilgan 6 ta ixtiroga berilgan guvohnoma va patentlar muallifidir. Uning ilmiy maslahatchiligi va ilmiy rahbarligida 2 ta doktorlik, 8 ta nomzodlik va 4 ta texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) ilmiy darajalariga dissertatsiyalar yoqlandi, ko‘p sonli ilmiy-tadqiqot mavzulari – fundamental va amaliy Ilmiy grantlar, yo‘l-ko‘priq qurilishi bo‘yicha Respublika va soha me‘yoriy hujjatlari yaratganlar.

Ishanxodjayev Abduraxmon Asimovich 1962 yilda Toshkent temir yo‘l muhandislari institutini “Sanoat va fuqaro qurilishi” mutaxassisligi bo‘yicha tugatib, bir yil O‘zbekiston suv xo‘jaligi Davlat loyiha instituti muhandisi, to‘rt yil “Toshshaxarqurilish Bosh Boshqarmasi” qurilish tashkilotlarida qurilish ustasi va ish bajaruvchi lavozimlarida ishladi. Shu davrda u hozirgi Respublika Prezidenti devoni binosi qurilishida ishtirok etdi, Toshkent viloyati Bo‘stonliq rayoni “Chimyon” dam olish zonasida tiklanayotgan “Quyoshli” pioner lager qurilishiga rahbarlik qildi. Nihoyat, u 5-yillik loyiha va ishlab chiqarish tajribasiga ega mutaxassis sifatida 1967-yil dekabrda O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutiga, ushbu institut direktori, o‘sha paytda fan nomzodi, keyinchalik akademik Tursunboy Rashidov ilmiy rahbarligida aspiranturaga kiradi va keyingi 20-yil davomida kichik va katta ilmiy hodim, laboratoriya mudiri lavozimlarida faoliyat ko‘rsatdi.

Shu davrda uning bevosita rahbarligi va ishtirokida O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi mexanika va inshootlar seysmik mustahkamligi institutida dunyoda yagona “Metropolitanlar zilzilabardoshligi” laboratoriyasi tashkil etildi. Ushbu laboratoriya Toshkent metropoliteni Chilonzor metro yo‘lini noqulay grunt sharoitlari va yuqori seysmik zonada loyihalash va qurishda, metro qurilishi tajribasida birinchi bo‘lib yirik yig‘ma temirbeton elementlardan tiklanadigan yurish va bekat tonnellarining yangi, zilzilabardosh konstruksiyalari yaratish va tadbiriq etishda faol qatnashdi. Toshkent metrosi Chilonzor yo‘lining qurilgan bo‘laklarida ulkan eksperimental tadqiqotlar o‘tkazildi, metro tajribasida birinchi bo‘lib muhandis-seysmometrik kuzatuvlar tashkil qilindi. Laboratoriya ilmiy xodimlari va izlanuvchilaridan 10 dan ortiq kishi nomzodlik va doktorlik dissertatsiyalari yoqladilar. Kafedrada bajarilgan ilmiy-tadqiqotlar natijalarining ishlab chiqarishga tadbiriqidan hosil bo‘lgan katta miqdordagi iqtisodiy samara institut va O‘zbekiston Fanlar Akademiyasi hisobotlarida qayd etildi.



Ustozimiz 30 yildan ortiq muddatda rahbarlik qilgan Toshkent avtomobil-yo'llar instituti "Ko'priklar va transport tonnelli" kafedra O'zbekiston Respublikasi, shuningdek, Osiyo, Afrika va Lotin Amerikasi mamlakatlari uchun ko'priksizlik bo'yicha oliy malumotli kadrlar tayyorladilar. Shuni qayd etish lozimki, professor Ishanxodjaev Abduraxmon Asimovich turli yillarda Tojikiston va Qirg'iziston Respublikalari hududlarida, Armaniston Respublikasining Spitak shahrida ro'y bergan kuchli zilzilalar oqibatlarini o'rganish va tahlil qilishda, sobiq Ittifoq Fanlar Akademiyasi prezidiumi qoshidagi seysmologiya va zilzilabardosh qurilish bo'yicha idoralararo kengash azosi sifatida faol ishtirok etdi. Keyingi yillarda u Toshkent shahri va Respublikada qurilayotgan ulkan transport inshootlari konstruksiyalari, shu jumladan Toshkent metropoliteni yer usti xalqa yo'li konstruksiyalarini ekspertiza qilish jarayonlarida ham bevosita ishtirok etdi.

Ishanxodjayev Abduraxmon Asimovich 50 yildan ortiq davrda ilmiy darajalar beruvchi ixtisoslashgan va ilmiy kengashlarning raisi, ilmiy kotibi, a'zosi va ushbu kengashlar qoshidagi ilmiy seminar raisi sifatida 300 dan ortiq mutaxassislarning doktorlik, nomzodlik va falsafa doktori ilmiy darajasini olish jarayonida qatnashdi. Hozirda u Toshkent Davlat Transport Universiteti huzuridagi doktorlik dissertatsiyalari himoyasi bo'yicha ilmiy kengash a'zosi va ushbu ilmiy kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, O'zbekiston mexaniklar jamiyatining kengashi a'zosi, Sharof Rashidov nomli Samarqand Davlat universiteti va O'zbekiston Fanlar Akademiyasi seysmologiya instituti qoshidagi doktorlik dissertatsiyalari himoyasi bo'yicha ilmiy kengashlar a'zosi sifatida ilmiy darajadagi mutaxassislar tayyorlashda faol ishtirok etmoqdalar.

Mazkur ilmiy-amaliy konferensiyaning maqsadi transport qurilishi sohasida olib borilayotgan zamonaviy ilmiy tadqiqotlar yo'nalishlarini muhokama qilish, jumladan ko'priklar va tunnellar qurilishi, metropolitenlar, yuqori seysmik hududlarda transport obyektlarining ishonchliligi va seysmik mustahkamligi, zamonaviy hisoblash va loyihalash usullari, hamda innovatsion muhandislik yechimlari bo'yicha ilmiy natijalar almashuvini ta'minlashdan iboratdir.

Konferensiyada O'zbekiston Respublikasi hamda xorijiy mamlakatlarning oliy o'quv yurtlari va ilmiy-tadqiqot institutlari olimlari, shuningdek, muhim ilmiy tadqiqot natijalariga ega bo'lgan ishlab chiqarish vakillari o'z ilmiy ishlari bilan ishtirok etdilar.

"Transport inshootlari: zamonaviy texnologiyalar, seysmik barqarorlik" mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyaning asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat:

1. Transport inshootlari uchun zamonaviy konstruktiv yechimlar va materiallar;
2. Ko'priklar hamda yo'l o'tkazgichlarni diagnostika qilish, ta'mirlash va mustahkamlash texnologiyalari;
3. Seysmik hududlarda transport inshootlarini loyihalash va ekspluatatsiya qilishdagi dolzarb masalalar;
4. Ilg'or xorijiy tajriba, innovatsion yondashuvlar va amaliy tavsiyalar.

Ushbu ilmiy-ma'rifiy to'plam Abduraxmon Asimovich Ishanxodjayevning tabarruk 85 yoshga to'lishi munosabati bilan nashr etilib, unda transport qurilishi sohasida faoliyat yuritayotgan yetakchi olimlar, professor-o'qituvchilar va malakali mutaxassislarning ilmiy izlanishlari jamlangan. To'plamda transport qurilishining dolzarb muammolari, zamonaviy muhandislik yechimlari, ilmiy-nazariy va amaliy tadqiqot natijalari yoritilib, ushbu sohaning bugungi holati va istiqboldagi rivojlanish yo'nalishlari aks ettirilgan. Mazkur nashr Abduraxmon Asimovichning transport qurilishi faniga qo'shgan ulkan hissasiga nisbatan chuqur hurmat va e'tirof ramzi sifatida tayyorlangan.



Methods for determining soil pressure on underground structures under seismic influences

U. Rakhmanov¹^a, G.B. Ismailova¹^b

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: This article examines methods for determining soil pressure on underground structures. Five methods for determining ground pressure on underground structures were considered, and the calculation results were compared and presented in the form of graphs. In conclusion, an analysis of the above-mentioned methods for calculating the seismic resistance of underground structures was conducted and their shortcomings were presented.

Keywords: Pressure, soil, normal and tangential stresses, seismic impact, seismic waves, prevailing period, quasi-static load, normal tangential stresses, extreme stresses, plane, stress concentrations, wave theory, seismodynamic theory

Методы определения давления грунта на подземные сооружения при сейсмических воздействиях

Рахманов У.¹^a, Исмаилова Г.Б.¹^b

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: В данной статье рассматриваются методы определения давления грунта на подземные сооружения. Рассмотрены пять методов определения давления грунта на подземные сооружения и сопоставлены результаты расчета которые приведены в виде графиков. В заключении произведен анализ рассмотренных выше методов расчета сейсмостойкости подземных сооружений и приведены их недостатки.

Ключевые слова: Давление, грунт, нормальные и касательные напряжения, сейсмическому воздействию, сейсмические волны, преобладающий период, квазистатическую нагрузку, нормальные тангенциальные напряжения, экстремальные напряжения, плоскость, концентрации напряжений, волновая теория, сейсmodинамическая теория

1. Введение

Методы определения давления грунта на подземные сооружения разработаны рядом исследователей [1-6], получены формулы для определения нормальных и касательных напряжений, возникающих на контакте в результате взаимодействия крепи с породами. В работе [2] приведен расчет крепи выработки круглого сечения, подвергающегося сейсмическому воздействию методом многослойного кругового кольца. Задача сводится к определению напряжений на контактах слоев, так как, зная эти напряжения, можно произвести расчет каждого слоя.

Методы определения давления грунта на подземные сооружения. От очага землетрясения во все стороны распространяются упругие сейсмические волны, среди которых различают продольные Pp волны и поперечные P5 волны. Продольные волны характеризуются возникновением в массиве пород чередующихся напряжений растяжения и сжатия, поперечные волны - напряжений сдвига. Скорости распространения продольных и поперечных сейсмических волн отличаются друг от друга и составляют

$$C_p = \sqrt{\frac{E_g}{\gamma} - \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

$$C_s = \sqrt{\frac{E_g}{2\gamma(1+\mu)}} \quad (2)$$

здесь γ - объемный вес,

μ - коэффициент Пуассона,

E - модуль упругости,

g - ускорение свободного падения тела.

Для плоских гармонических волн в упругой среде экстремальные значения нормальных и касательных напряжений определяются выражениями

$$\sigma_{\max/\min} = \pm P = \pm \frac{1}{2\pi} \cdot K_c \gamma \cdot C_p T_o, \quad (3)$$

$$\tau_{\max} = \pm Q = \pm \frac{1}{2\pi} \cdot K_c \gamma \cdot C_s T_o, \quad (4)$$

где K_c - коэффициент сейсмичности, соответствующий баллу землетрясений;

T_o - преобладающий период сейсмических колебаний частиц породы, определяемкй по данным инженерно-сейсмометрической службы, а при отсутствии этих данных принимаемый равным 0,1-1,0 с.

При воздействии упругих волн на подземное сооружение в нем возникает изменяющееся во времени

^a <https://orcid.org/0000-0001-9702-0611>

^b <https://orcid.org/0000-0002-4454-5147>



напряженное состояние, которое может быть исследовано с помощью решений динамических задач теории упругости. Величина напряжений существенно зависит от соотношения поперечных размеров подземного сооружения и длины волн. При действии плоских гармонических волн в упругой среде, ослабленной отверстием или содержащей включение из другого материала, при длине волн, значительно превосходящих размеры отверстия или включения, распределение напряжений в среде приближается к получаемому из решения статической задачи теории упругости, для упругой плоскости с отверстием или включением, нагруженной на бесконечности напряжениями P , λP , определяемыми соотношениями (3), (4) и

$$\lambda = \frac{\mu}{1-\mu} \quad (5)$$

При длинах волн $L_3 > 12R$ и $L_4 > I$ OR (R -радиус отверстия) максимальные коэффициенты концентраций динамических напряжений на 5-15% больше, чем при статическом нагружении. Это явление называется динамическим выбросом.

При меньших значениях длин волн коэффициенты концентрации динамических напряжений существенно меньше статических.

Решение динамических задач для крепи выработок при действии продольных и поперечных волн произвольного направления, при сейсмических волнах, длина которых не менее, чем втрое, превосходит наибольший поперечный размер выработки сводится к решению квазистатических контактных задач. Общие принципы расчета крепи выработок на сейсмические воздействия при землетрясениях разработаны Н.Н.Фотиевой.

Крепь рассматривается как кольцо заданной толщины и конфигурации в условиях полного контакта с массивом. Задача воздействия упругих волн рассматривается как плоская, т.е. рассматривается распространение сейсмических волн в плоскости поперечного сечения сооружения.

Массив горных пород моделируется линейно-деформируемой средой, механические свойства которой характеризуются средними значениями модуля деформации и коэффициента Пуассона μ .

Расчет крепи выработки круглого сечения, подвергающейся сейсмическому воздействию от землетрясения, произведен методом расчета многослойных конструкций. Рассмотрено многослойное упругое кольцо, внешний n -й слой которого моделирует массив пород, а внутренние - многослойную крепь.

В частном случае монолитной бетонной крепи эта схема может быть сведена к двухслойному кольцу. Кроме того, в качестве слоев могут быть выделены области в массиве пород вокруг выработки с отличающимися деформационными характеристиками (E и μ) вследствие упрочнения пород в результате тампонажа либо вследствие разупрочнения пород под влиянием взрывных работ или деформаций за пределом прочности.

Определим расчетную квазистатическую нагрузку, приложенную к внешнему контуру $\Gamma = R_n$ многослойного кольца. Примем наиболее неблагоприятный случай, когда сейсмические продольные и поперечные волны достигают выработки одновременно, тогда при направлении действия волн

вдоль оси x' (рис.1) напряженное состояние массива эквивалентно действию на бесконечности напряжений.

$$\sigma_{x'}^{(\infty)} = \pm P; \quad \sigma_{y'}^{(\infty)} = \pm \lambda P; \quad \tau_{x'y'}^{(\infty)} = \pm Q, \quad (6)$$

где значения P , Q и λ , определены формулами (3), (4), (5).

Учитывая равнозначность радиальных направлений для выработки круглого сечения, определим главные напряжения в массиве пород на бесконечности, пользуясь известными формулами теории напряжений

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1 \\ \sigma_3 \end{matrix} \right\} = \pm \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Подставляя в эти формулы значения (1.6), получим

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1^{(\infty)} \\ \sigma_3^{(\infty)} \end{matrix} \right\} = \pm \frac{P}{2(1-\mu)} \left(1 \pm \sqrt{(3-4\mu)(1-2\mu)} \right) \quad (7)$$

Здесь знак “ \pm ” перед правой частью обозначает действие сжимающих и растягивающих напряжений на бесконечности.

Главные наибольшие напряжения действуют вдоль оси x'' , которая отклонена от оси x' на угол $\pm \alpha'$, определяемый известной зависимостью (рис. 1)

$$2\alpha' = \arctg \left(-\frac{2\tau_{x'y'}}{\sigma_{x'}^{(\infty)} - \sigma_{y'}^{(\infty)}} \right) \quad (8)$$

Главные напряжения в массиве на бесконечности можно представить в виде

$$\left. \begin{matrix} \sigma_1^{(\infty)} \\ \sigma_3^{(\infty)} \end{matrix} \right\} = P_0 \pm P_2, \quad (9)$$

где

$$P_0 = \frac{P}{2(1-\mu)}; \quad P_2 = \frac{P}{2(1-\mu)} \sqrt{(3-4\mu)(1-2\mu)}; \quad (10)$$

Значение P определено формулой (3).

Переходя от декартовых координат к полярным и направляя ось x вдоль оси x'' (рис.1) получим следующее выражение для расчетных напряжений, приложенных к внешнему контуру многослойного кольца.

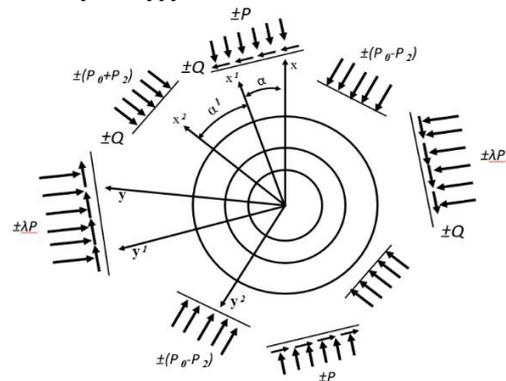


Рис. 1. Расчётная схема выработки круглого сечения

Дальнейший расчет производится в следующем порядке: в начале по нижеследующим формулам

$$K_{0i} = \frac{d_{1(i)}}{d_{2(i)} + x_0(d'_{1(i-1)} - K_{0(i-1)}d'_{2(i-1)})};$$



$$\begin{aligned} K_{11i} &= \frac{1}{B}(\beta_1 \alpha'_{1(i)} - \beta_2 \alpha_{1(i)}); \\ K_{12(i)} &= \frac{1}{B}(\beta_2 \alpha_{2(i)} - \beta_1 \alpha'_{2(i)}) \\ K_{21(i)} &= \frac{1}{B}(\alpha_1 \alpha'_{1(i)} - \alpha_2 \alpha_{1(i)}); \\ K_{22(i)} &= \frac{1}{B}(\alpha_2 \alpha_{2(i)} - \alpha_1 \alpha'_{2(i)}); \end{aligned} \quad (12)$$

определяются коэффициенты передачи нагрузок последовательно для всех слоев, начиная со второго изнутри. Затем по формулам

$$P_{0(i-1)} = P_{0i} K_{0(i)},$$

$$P_{2(j-1)} = P_{2(i)} K_{11(i)} + q_{2(i)} K_{12(i)},$$

$$q_{2(j-1)} = P_{2(i-1)} K_{21(i)} + q_{2(i)} K_{22(i)}, \quad (13)$$

находятся напряжения на контактах слоев.

После проведения вышеуказанных расчетов по нижеследующим формулам при $\gamma = R_{1-1}$

$$\sigma_\theta = P_{0(i)} m_1 - P_{0(i-1)} m_2 - (P_{2(i)} n_1 - q_{2(i)} n_2 - P_{2(i-1)} n_3 + q_{2(i-1)} n_4) \cos 2\theta; \quad (14)$$

при $\gamma = R_1$

$$\sigma_\theta = P_{0(i)} m'_1 - P_{0(i-1)} m'_2 - (P_{2(i)} n'_1 - q_{2(i)} n'_2 - P_{2(i-1)} n'_3 + q_{2(i-1)} n'_4) \cos 2\theta; \quad (15)$$

вычисляются нормальные тангенциальные напряжения на внутреннем и внешнем контурах каждого слоя.

Расчетные напряжения в крепи от сейсмических воздействий суммируются с напряжениями от горного давления. Проверка прочности слоев производится по экстремальным значениям напряжений.

Если связь крепи с массивом пород не усилена конструктивно и крепь проектируется с допущением образования трещин, то за расчетные принимаются только сжимающие напряжения P^* . В противоположном случае необходимо принимать во внимание действие на крепь продольной волны в фазе растяжения и учитывать оба знака напряжений.

Если выработка закреплена монолитной крепью, в расчетной схеме остается всего два слоя (рис.2), при этом расчетные формулы существенно упрощаются.

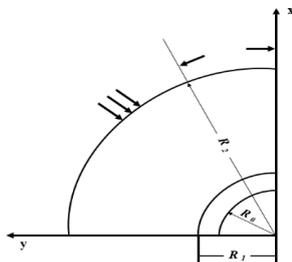


Рис. 2. Схема к расчету монолитной выработки круглого сечения

Коэффициенты передачи нагрузок через внешний слой определяются выражениями при $\gamma \rightarrow \infty$

$$K_{0(2)} = \frac{d_{1(2)}}{d_{2(2)} + x_0' d'_{1(1)}}, \quad K_{1(2)} = 2 \frac{\beta_1}{B}, \quad K_{2(2)} = 2 \frac{\alpha_1}{B}, \quad (16)$$

где

$$B = \alpha_2 \beta_1 - \alpha_1 \beta_2, \quad \alpha_1 = \frac{1}{x_2 + 1} (1 + x'' b_{1(1)}),$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{x_2 + 1} (x_2 + x'' b'_{1(1)}), \quad \beta_1 = -\frac{1}{x_2 + 1} (1 - x'' b'_{2(1)}),$$

$$\beta_2 = \frac{1}{x_2 + 1} (x_2 + x'' b'_{2(1)}), \quad x'' = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} - \frac{x_1 + 1}{(c_1^2 - 1)^3}$$

Поскольку направление сейсмических волн заранее не известно, то необходимо знать экстремальные напряжения в крепи, которые определяются по формулам, следующим из (14) и (15)

при $\gamma = R_0$

$$\sigma_0 = P_{0(i)} m_1 \pm (P_{2(i)} n_1 - q_{2(i)} n_2); \quad (17)$$

при $\gamma = R_1$

$$\sigma_0 = P_{0(i)} m'_1 \pm (P_{2(i)} n'_1 - q_{2(i)} n'_2); \quad (18)$$

Выражения множителей $m_1, m_2, m_3, m_4, n_1, n_2, n_3, n_4, a'_1, b'_1, d, a_1, b_1, d_1$, и др. приведены в работе [2]. Экстремальные напряжения суммируются с соответствующими расчетными напряжениями от других видов воздействий на крепь.

Полагая, что в неограниченной упругой изотропной плоскости сделано круговое отверстие радиуса R и в это отверстие вставлено упругое кольцо из другого изотропного материала в [5] определены компоненты напряжений и перемещений в кольце и плоскости. Рассмотрены два варианта вставления кольца:

1 - вставленное кольцо припаяно к окружающему его материалу,

2 - кольцо просто вставлено в отверстие и не припаяно.

Упругая плоскость растягивается усилиями q вдоль оси Oy и $P = \lambda q$ вдоль оси Ox . Для приведенных выше вариантов получены выражения, определяющие давление материала пластинки на вставленное кольцо.

Давление материала пластинки:

на впаянное упругое кольцо имеет вид

$$P = -(\sigma_r^0)_{r=R_1} = \frac{q \mu_0 (1+x)(n^2-1)}{2} P = -(\sigma_r^0)_{r=R_1} = \frac{q \mu_0 (1+x)(n^2-1)}{2} \left\{ \frac{1+\lambda}{2\mu_1 + n^2 \mu_1 (x_0 - 1) + 2\mu_0 (n^2 - 1)} + \frac{1-\lambda}{D} [(\mu_1 - \mu_0)(3n^2 - 1) + (\mu_0 - \mu_1 x_0)(3n^4 - n^6)] \cos 2\theta \right\}$$

(19)

на просто вложенное упругое кольцо

$$P = -(\sigma_r^0)_{r=R_2}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{q(n^2 - 1)}{2} \left\{ (1 + 2) \left[\frac{\mu_0(1 + \lambda)}{2\mu_1 + n^2 \mu_1 (x_0 - 1) + 2\mu_0(n^2 - 1)} \right] - \left[\frac{8\mu\mu_0}{2\mu_1 + n^2 \mu_1 (x_0 - 1) + 2\mu_0(n^2 - 1)} \cdot \frac{\varepsilon}{q(1 + \lambda)R_2} - (1 - \lambda)(n^2 - 1)^3 \frac{6\mu_0(1 + N)}{D_1} - \cos 2\theta \right] \right\}, \end{aligned}$$

(20)

где $q = \gamma H$ - вес вышележащего грунта,

$n = R_2 / R_1$,

H - глубина заложения,

R_2 - внешний радиус кольца,

R_1 - внутренний радиус кольца,

$\mu_0, \mu_1, x_0, x_1, D, D_1$ - параметры, зависящие от геометрических размеров и упругих характеристик пластинки и кольца.



Нами произведен расчет подземной крепи по методам, приведенным выше и сопоставлены полученные результаты расчета (рис. 3).

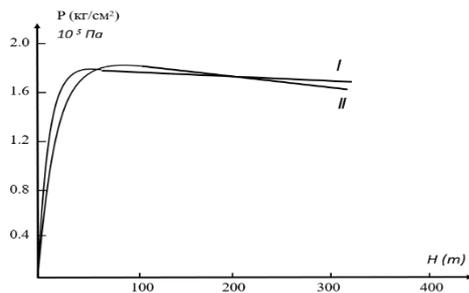


Рис. 3. Изменение давления грунта на трубопровод. 1 - по методу [2], 2 - по методу [5]

Установлено, что на глубине заложения $H < 200R_2$ полученные результаты немного превышают результаты полученные методом приведенным в [5], максимальное расхождение составляет 10-15%. На глубине заложения $200R_2 < H < 300R_2$ значения давлений вычисленные по методам [2] и [5] совпадают.

В [3] получены выражения для определения вертикального давления грунта на трубопровод в насыпи:

$$\begin{aligned} G_B &= \gamma D_1(H + 0,108D_1), \\ G_{OCH} &= \gamma D_1(A_1H - A_2D_1), \\ G_{ДОП} &= (K_H - 1)\gamma H D_1, \end{aligned} \quad (21)$$

где γ - объемный вес грунта,

D_1 - наружный диаметр трубопровода,

H - глубина заложения,

A_1, A_2 - параметры, зависящие от коэффициента бокового давления,

K_H - коэффициент концентрации вертикального давления.

Результаты, полученные по формулам (21) были сопоставлены с результатами, полученными экспериментальным методом центрального моделирования [7]. Максимальные значения давления, полученные по выражениям (1.21), на 10-15% превышают значения давлений, полученных экспериментальным методом. Результаты расчета приведены на рисунке 4.

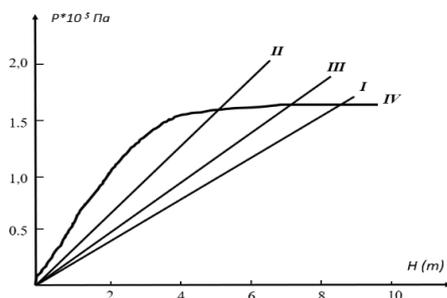


Рис. 4. Изменение давления грунта на трубопровод. I - по формуле $G = \gamma H$, II - по методу [3], III - экспериментальным методом - статика IV - экспериментальным методом - динамика

Статическая теория сейсмостойкости подземных сооружений основана на гипотезе жесткого защемления сооружения в грунт. Исходя из условия совместности деформации грунта и сооружения, рекомендованы

формулы для оценки порядка величин сейсмического напряжения, а следовательно, горного давления [1]

$$\sigma = \pm \frac{1}{2\pi} K_c \gamma C_p T. \quad (22)$$

Выражение (22) соответствует случаю, когда сейсмические продольные волны распространяются поперек сооружения.

Формулу (22) получают в том случае, если продольные сейсмические волны распространяются вдоль оси тоннеля и в горном массиве возникают продольные сжимающие напряжения.

$$\sigma_x = \frac{q}{2\pi} K_c \frac{1}{C_p} T. \quad (23)$$

При ограниченности боковых деформаций породы сейсмическое горное давление равно

$$P_0 = \pm \frac{v}{1-v} - \frac{1}{2\pi} K_c \gamma C_p T, \quad (24)$$

где v - коэффициент Пуассона,

K_c - сейсмический коэффициент,

C_p - скорость распространения продольных волн,

T - период колебания почвы.

2. Заключение

Существующие методы решения статической теории сейсмостойкости подземных сооружений [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и др.] не всегда верны, так как занижают или завышают значения напряжений. Анализ рассмотренных выше методов расчета сейсмостойкости подземных сооружений позволяет отметить следующие недостатки:

а) при расчете подземных сооружений на сейсмостойкость в зависимости от грунтовых условий и конструктивных особенностей сооружения статическая теория сейсмостойкости подземных сооружений может быть применена в тех случаях, когда физико-механические свойства сооружения и окружающего его грунта отличаются незначительно;

б) теория определения концентрации напряжений около отверстий удобна для расчета, но не учитывает физическую природу взаимодействия сооружения с грунтом;

в) отсутствует учет пространственной работы сооружения;

г) волновая теория в изучении сейсмостойкости подземных сооружений пока не приводит к желаемым результатам при колебательном процессе самого сооружения, в частности свойств его деформирования;

д) невозможность определения распределения напряжений по толщине сооружения в целях повышения его несущей способности.

В отличие от статической, сейсродинамическая теория сложных систем подземных сооружений находит широкое применение при оценке сеймонапряженного и деформированного состояния подземных трубопроводов, тоннелей, станций метрополитенов и т.п. При изучении различных моделей взаимодействия динамической системы "сооружение-грунт" выявлен ряд закономерностей сейсмических колебаний подземных сооружений, изменение динамических усилий в их элементах в зависимости от сейсмического воздействия, геометрических размеров и физико-механических свойств конструкций и грунта [9, 10-19].

Основываясь на эти закономерности необходимо сформулировать постановку задачи, которая дает возможность определения характера распределения



напряжений по поперечному сечению сооружения в зависимости от сейсмического воздействия, геометрических размеров и физико-механических свойств сооружения и грунта, а также внутреннего давления. Кроме этих факторов, имеет немаловажное значение учет взаимодействия сооружения с грунтом.

Использованная литература / References

[1] Напетваридзе Ш.Г. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений. М, Госстройиздат, 1959. 216 с.

[2] Булычев Н.С. Расчет многослойных обделок тоннелей круглого сечения на сейсмические воздействия при землетрясениях //Материалы IV Всесоюзной конференции по динамике оснований, фундаментов и подземных сооружений. Ташкент: Фан. 1977. С.37-40.

[3] Клейн Г.К. Расчет подземных трубопроводов, уложенных в земле. М.: Стройиздат, 1969. 239 с.

[4] Фотиева Н.Н., Дорман И.Я. Определение напряженного состояния обделки тоннеля кругового очертания от сейсмических воздействий Сейсмостойкость транспортных сооружений, 1975, № 67. С. 107-114.

[5] Савин Г.Н. Распределение напряжений около отверстий. Киев: Нукова думка, 1968 7 887с.

[6] Окамото Ш. Сейсмостойкость инженерных сооружений. /Пер. С англ. Л.Ш. Килимника. М.: Стройиздат, 1980. 342с.

[7] Джурабеков С, Тешабаев З.Р., Юсупов А. Исследование изменения давления грунта на подземные сооружения при динамических воздействиях методом центробежного моделирования. -Изв. АН УзССР, серия техн. наук, поб, 1983.-С.26-29.

[8] Бурдзгла Н.А. Метод расчета монолитных обделок тоннелей. М.: Стройиздат, 1968. 223 с.

[9] Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем. /М.: машиностроение, 1970. 734 с.

[10] Каюмов А. Исследование сейсродинамики сложных систем подземных сооружений с учетом упруго-пластического взаимодействия их с грунтом. /Автореферат дисс. канд. техн. наук. Ташкент, 1979. 19 с.

[11] Мубаракон Я.Н. Сейсмостойкость подземных сооружений типа оболочки. //Изв. АН УзССР, сер. техн. наук, 1974, № 2. С.35-39.

[12] Омельяненко В.А. Сейсродинамика сложных систем подземных трубопроводов конечных длин. / Автореферат дисс. канд. техн. наук, Ташкент, 1974. 19с.

[13] Проскура С.Ф. К вопросу сейсродинамических колебаний сложных систем подземных сооружений с нецентральной и неортогональной стыковкой в узлах. /Автореферат дисс. канд. техн. наук. Ташкент, 1978. 19 с.

[14] Рашидов Т.Р., Хожметов Г.Х., Джурабеков С. Исследования взаимодействия труб с окружающим грунтом методом центробежного моделирования. //Вопросы механики. Вып. 12. Ташкент, 1973. С.44-48.

[15] Рашидов Т.Р. и др. Сейсмостойкость тоннельных конструкций метрополитенов М.: Транспорт, 1975. 120 с.

[16] Рашидов Т., Ишанходжаев А.А., Дорман И.Я. Сейсмостойкие конструкции тоннелей метрополитена. М.: Транспорт, 1974. 120с.

[17] Рашидов Т.Р., Сагдиев Х. К вопросу сейсродинамики подземной цилиндрической оболочки. // Изв. АН УзССР, 1981, № 3. С.44-48.

[18] Рашидов Т.Р., Хожметов Г.Х. Сейсмостойкость подземных трубопроводов. Ташкент: Фан, 1985. 151с.

[19] Рахманов У. Изменение давления грунта на подземные сооружения при прохождении сейсмических волн. В кн. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Ташкент. Фан. 1986, с.89-92.

Информация об авторах/ Information about the authors

**Рахманов
Усаркул**

Ташкентский государственный транспортный университет, Кандидат технических наук, профессор
Email: usarkulrahmonov@gmail.com
Tel.: + 998903580279
<https://orcid.org/0000-0001-9702-0611>

**Исмаилова
Гулчехра
Бакиджановна**

Ташкентский государственный транспортный университет,
Старший преподаватель
E-mail: 8299539@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4454-5147>



U. Shermukhamedov, Y. Khakimova <i>The problem of load combination in earthquake resistance theory ..65</i>	
Sh. Normurodov <i>Monitoring the technical condition of operating transport tunnels.....70</i>	70
K. Lesov, M. Kenjaliyev, O. Mirzakhidova <i>Methodology for assessing the dynamic impact of rolling stock on the subgrade and justification for its reinforcement in the area of rail joints.....75</i>	75
V. Soy, N. Mukhammadiev, G. Malikov, D. Tursinaliyev <i>Justification of the purposes of using basalt fiber in cement concrete.....80</i>	80
I. Mirzaev, D. Askarova <i>Oscillation of a prestressed span structure of a reinforced concrete railway bridge with mass in horizontal motion.....84</i>	84
U. Rakhmanov, G. Ismailova <i>Methods for determining soil pressure on underground structures under seismic influence.....89</i>	89
A. Karimova, M. Abdurasulova <i>Methodology for Assessing Embodied Carbon in Bridge Structures.....94</i>	94
Kh. Urazov <i>Economic efficiency of implementing modern prefabricated reinforced retaining walls.....98</i>	98
I. Makhamataliyev, V. Soy, N. Mukhammadiev, G. Malikov <i>Assessment of the block strength of dispersely-armonized basalt fiber, complex-modified small-grain fiber concrete.....105</i>	105
A. Abdullaev <i>Identification and Assessment of Critical Spatial Deformations and Internal Force States of Continuous Monolithic Reinforced Concrete Bridges under Strong Seismic Actions Using MiDAS Civil109</i>	109
Sh. Nishonboev, Z. Mirzayeva, Kh. Urazov, A. Abdusattorov <i>Optimization of the design of bridge intermediate supports.....112</i>	112