

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

24-april, 2025



engineer.tstu.uz

**MUHAMMADAMIN KABULOVICH TOHIROVNING TAVALLUDINING
80 YILLIGIGA BAG'ISHLANGAN
“SAMARALI QURILISH MATERIALLARI, KONSTRUKSIYALARI VA
TEXNOLOGIYALARI”
MAVZUSIDAGI XALQARO ILMIY-AMALIY KONFERENSIYASI
ILMIY ISHLARI TO'PLAMI**

Toshkent davlat transport universiteti Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining akademigi, O'zbekiston Respublikasida xizmat ko'rsatgan yoshlar murabbiysi, texnika fanlari doktori, professor **Muhammadamin Kabulovich Tohirovning tavalludining 80 yilligiga bag'ishlangan “Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari”** mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya ilmiy ishlari to'plami chop etildi.

Muhammadamin Kabulovich kompozitsion qurilish materiallarining polistrukturaviy nazariyasini rivojlantirishga ulkan hissa qo'shgan olimdir. 1995-yilda Muhammadamin Kabulovich Rossiya Arxitektura va qurilish fanlari akademiyasining (RAASN) xorijiy a'zosi etib saylangan, bu esa ularning qurilish materialshunosligi sohasiga qo'shgan ilmiy hissasining xalqaro miqyosdagi e'tirofi bo'ldi. Ular o'z ilmiy faoliyati davomida 6 ta monografiya, 200 dan ortiq ilmiy maqola va 25 ta ixtiroga mualliflik guvohnomasi yaratganlar.

Ushbu konferensiyaning asosiy maqsadi – qurilish materialshunosligi, bino va inshootlarni loyihalash hamda qurilish sohasidagi zamonaviy ilmiy tadqiqotlar natijalarini muhokama qilish, shuningdek, muhandislik ta'limini takomillashtirish yo'llarini aniqlashdir.

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.

“Samarali qurilish materiallari, konstruksiyalari va texnologiyalari” mavzusidagi xalqaro ilmiy-amaliy konferensiyaning asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat:

1. **Resurs va quvvatni tejaydigan qurilish materiallari va texnologiyalari** – zamonaviy ekologik va iqtisodiy talablarni qondirishga qaratilgan innovatsion yechimlar.
2. **Bino va inshootlarning qurilish konstruksiyalari, zamonaviy hisoblash va loyihalash usullari - muhandislik** va texnologik yechimlarni takomillashtirish yo'nalishlari.
3. **Arxitektura va shaharsozlik** – estetik va funksional jihatlarni uyg'unlashtirgan zamonaviy loyihalar yaratish.
4. **Zamonaviy muhandislik ta'limi tizimini takomillashtirish** – kelajak mutaxassislarini yuqori malakali darajada tayyorlash uchun ta'lim jarayonini modernizatsiya qilish.

Mazkur konferensiya ilmiy hamjamiyatning turli vakillarini bir joyga jamlab, qurilish materialshunosligi sohasidagi zamonaviy muammolar va istiqbollarni muhokama qilish uchun qulay platforma vazifasini bajardi.

Models of deformation of main pipelines under repeated-variable loading considering material damageability

A. Abdusattarov¹

¹Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

Abstract: The formulation of the problem and the computational model of the deformation of main pipelines under repeated variable loading, taking into account the damage. Based on the theory of small elastoplastic deformations and the variational principle, systems of differential equations of motion (equilibrium) of main pipelines are obtained, and a boundary value problem is formed.

Keywords: variable loading; deformation; damage; variational principle; equilibrium equations

Модели деформирования магистральных трубопроводов при повторно переменном нагружении с учетом повреждаемости материалов

Абдусаттаров А.¹

¹Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация: Приводятся постановка задачи и расчетной модели деформирования магистральных трубопроводов при повторно-переменном нагружении с учетом повреждаемости. На основе теории малых упругопластических деформаций и вариационного принципа, получены системы дифференциальных уравнений движения (равновесия) магистральных трубопроводов, сформирована краевая задача.

Ключевые слова: переменное нагружение; деформация; повреждаемость; вариационный принцип; уравнения равновесия

1. Введение

В последнее время циклической прочности и надежности инженерных сооружений уделяется большое внимание, в частности для магистральных трубопроводов. Это связано с возрастающей ролью трубопроводного транспорта в снабжении народного хозяйства нефтью и газом, также значительным ростом протяженности и увеличением диаметра трубопроводов, повышением требований к охране окружающей среды. Проблема обеспечения циклической прочности и надежности магистральных трубопроводов – многоплановая актуальная задача. Исследованию и оценке прочности трубопроводов посвящено большое количество работ [1-4].

В монографии [1] содержится описание методов численного моделирования магистральных трубопроводных систем. Предложенные концепции и методы являются базовыми элементами теоретического фундамента современного компьютерного инструментария для эффективного решения широкого круга технических и технологических проблем проектирования сооружений и объектов трубопроводного транспорта. В работе [2] на основе проведенного статистического анализа причин отказов магистральных трубопроводов в зависимости от срока эксплуатации показано, что определенные дефекты укладки трубопроводов могут инициировать разрушение даже после длительной эксплуатации, когда деградация металла достигает определенного уровня. Для испытания элементов трубы в условиях,

$$\bar{u}_i^{(n)} = (-1)^n (u_i^{(n-1)} - u_i^{(n)}), \bar{e}_{ij}^{(n)} = (-1)^n (e_{ij}^{(n-1)} - e_{ij}^{(n)}), \bar{\sigma}_{ij}^{(n)} = (-1)^n (\sigma_{ij}^{(n-1)} - \sigma_{ij}^{(n)}) \quad (1)$$

максимально приближенных к реальным (циклически изменяющиеся напряжения), сконструирована и изготовлена установка. Разработана математическая модель НДС трубопровода, позволяющая исследовать влияние эксплуатационных нагрузок на характеристики прочности и устойчивости трубопровода. В работе [3] исследовано влияние асимметрии циклов нестационарного нагружения на интенсивность накопления рассеянной поврежденности в стенке магистральных трубопроводов (газопроводов), выполненных из стали. Так же анализировались разрушения газопроводных труб в коррозионно-активной среде при длительной эксплуатации. В работе [4] сформулирована геометрически нелинейная постановка задачи о напряженно - деформированном состоянии трубопроводов, проложенных в сложных инженерно - геологических условиях.

Литературный анализ. В данной статье сформулирована постановка задачи и расчетная модель деформирования магистральных трубопроводов при повторно-переменном нагружении на основе теории малых упругопластических деформаций и уточненной теории стержней [5-7].

2. Методология исследования

Приведем расчётные модели деформирования магистрального трубопровода при воздействии внешних повторно+переменных нагружений. Следуя теории [8], введем разности



Согласно статическим гипотезам, выражения для перемещения точек магистральных трубопровода при переменном нагружении представим в виде аналогично, как в работе [7]:

$$\begin{aligned}\bar{U}_1^{(n)} &= \bar{u}^{(n)} - y\bar{\alpha}_1^{(n)} - z\bar{\alpha}_2^{(n)} + \phi\bar{v}^{(n)} + a_1\bar{\beta}_1^{(n)} + a_2\bar{\beta}_2^{(n)}, \\ \bar{U}_2^{(n)} &= \bar{v}^{(n)} - z\bar{\theta}^{(n)}, \bar{U}_3^{(n)} = \bar{w}^{(n)} + y\bar{\theta}^{(n)},\end{aligned}\quad (2)$$

где $\bar{\alpha}_1^{(n)}, \bar{\alpha}_2^{(n)}$ – углы поворота сечения при чистом изгибе при n ном нагружении; $\bar{\beta}_1^{(n)}, \bar{\beta}_2^{(n)}$ – углы поперечного сдвига; $\bar{\theta}^{(n)}$ – угол кручения; $\bar{v}_1^{(n)}$ – погонная закрутка при n -ном нагружении; ϕ – функция

кручения Сен-Венана. С учетом формулы Коши определены компоненты деформации. При повторно-переменном нагружении компоненты напряжений и деформаций при n -ном нагружении связаны следующим образом [9]:

$$\sigma_{11}^{(n)} = 3G \left\{ e_{11}^{(n)} - \left[\omega^{(n)} e_{11}^{*(n)} + \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \bar{e}_{11}^{0(n-m)} \right] \right\}, \sigma_{21}^{(n)} = G \left\{ e_{21}^{(n)} - \omega^{(n)} e_{21}^{*(n)} - \sum_{m=1}^{k-1} \omega^{0(n-m)} \bar{e}_{21}^{0(n-m)} \right\}. \quad (3)$$

При линейном упрочнении материала функция пластичности имеет вид

$$\omega^{(n)} = \begin{cases} 0, \text{ при } \bar{\epsilon}_u^{(n)} \leq \bar{\epsilon}_s^{(n)}(\eta), \\ \lambda_n \left[1 - \frac{\bar{\epsilon}_s^{(n)}(\eta)}{\bar{\epsilon}_u^{(n)}} \right], \text{ при } \bar{\epsilon}_u^{(n)} > \bar{\epsilon}_s^{(n)}(\eta). \end{cases}$$

В случае обобщенного принципа Мазинга $\lambda_n = \tilde{\lambda}$, $\bar{\epsilon}_u^{(n)} = \alpha_n \epsilon_s$, а при учете накопления повреждений:

$$\bar{\epsilon}_s^{(n)}(\eta) = \tilde{\alpha}_n \epsilon_s + (3G)^{-1} B^{1/\alpha} \cdot [1 - 0,5\tilde{\alpha}_n][1 - (1 - \eta)^{1+\alpha}]^{1/\alpha} (n-1)^{-1/\alpha}.$$

Функция повреждаемости $\eta(n)$ определяется из кинетического уравнения [8]:

$$\frac{d\eta}{d\lambda} = f(\bar{\sigma}_u^{(n)}, \eta_n); \quad f = A \frac{(\bar{\sigma}_u^{(n)})^\alpha}{(1 - \gamma_1 \eta_n)^\beta} \quad (4)$$

при условиях $\eta(0)=0$, $\eta(\lambda_N)=1$, где λ_N – число полуциклов нагружения.

Вывод уравнения движения. Для определения уравнения движения (равновесия) магистрального

трубопровода при повторно-переменном нагружении с учетом упругопластических деформаций и повреждаемости использован вариационный принцип Гамильтона – Остроградского [7]:

$$\delta \int_t (T^{(n)} - \Pi^{(n)} + A^{(n)}) dt = 0 \quad (5)$$

$$\text{где } \delta \int_t T^{(n)} dt = \int_x \tilde{A} \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial t} E \delta Y^{(n)} dx \Big|_t - \int_t \int_x \tilde{A} \frac{\partial^2 Y^{(n)}}{\partial t^2} E \delta Y^{(n)} dx dt; \quad (6)$$

$$\delta \int_t \Pi^{(n)} dt = \int_t \left\{ (A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y^{(n)} \right\} E \delta Y^{(n)} dt \Big|_x + \int_t \int_x \left\{ \frac{\partial}{\partial x} ((A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y^{(n)}) + (C^{yn} - C^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (D^{yn} - D^{nl}) Y^{(n)} \right\} E \delta Y^{(n)} dx dt; \quad (7)$$

$$\delta \int_t A^{(n)} dt = \int_t Q^{cp} \delta y dt \Big|_x + \int_t \int_x Q^n \delta y dx dt \quad (8)$$

Подставляя векторные выражения вариации кинетической, потенциальной энергий и работы внешних сил (6)–(8) в вариационный принцип (5), получим:

$$\begin{aligned} & \int_t \int_x \left\{ \tilde{A} \frac{\partial^2 Y^{(n)}}{\partial t^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y^{(n)} \right] + \right. \\ & \quad \left. + (C^{yn} - C^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (D^{yn} - D^{nl}) Y^{(n)} + Q^{I(n)} \right\} E \delta Y^{(n)} dx dt + \\ & + \int_t \left\{ (A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y^{(n)} + Q^{I(n)} \right\} E \delta Y^{(n)} dt \Big|_x + \int_x \tilde{A} \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial t} E \delta Y^{(n)} dx \Big|_t = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Из этого уравнений вытекает следующую краевую задачу:

$$\begin{aligned} & \tilde{A} \frac{\partial^2 Y^{(n)}}{\partial t^2} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y^{(n)} \right] + (C^{yn} - C^{nl}) \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial x} + (D^{yn} - D^{nl}) Y^{(n)} + Q^n = 0. \\ & \left\{ (A^{yn} - A^{nl}) \frac{\partial Y}{\partial x} + (B^{yn} - B^{nl}) Y + Q^{cp} \right\} \delta Y \Big|_x = 0; \quad \tilde{A} \frac{\partial Y^{(n)}}{\partial t} E \delta Y^{(n)} \Big|_t = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Здесь матрицы A, B, C, D – квадратичные матрицы девятого порядка, Q^n и Q^{cp} векторы внешних сил девятого порядка и коэффициенты имеют следующий вид:

$$(a_{ij} = a_{ij}^{yn} - a_{ij}^{nl(n)}, \quad b_{ij} = b_{ij}^{yn} - b_{ij}^{nl(n)}, \quad c_{ij} = -b_{ij}, \quad d_{ij} = a_{ij}^{yn} - d_{ij}^{nl(n)}).$$

Из вариационных уравнений (10) получена система дифференциальных уравнений равновесия магистрального трубопровода при повторно-переменном нагружении с соответствующими

граничными условиями в векторной форме. После применения метода конечных разностей они примут вид:

$$\begin{aligned} & (A_i^{yn} - A_i^{nl(k)}) \vec{V}_{i+1}^{(k)} - (B_i^{yn} - B_i^{nl(k)}) \vec{V}_i^{(k)} + (C_i^{yn} - C_i^{nl(k)}) \vec{V}_i^{(k)} = \vec{Q}_i^{(k)} + \vec{Q}_i^{nl} + \vec{Q}^{nl0}, \\ & \left[(A^{yn} - A^{nl(k)}) \frac{d\vec{V}^{(k)}}{dx} + (B^{yn} - B^{nl(k)}) \vec{V}^{(k)} \right] \Big|_\Gamma = \vec{F}^{(k)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для решения нелинейных краевых задач используются метод упругих решений А. А. Ильюшина [5] и метод матричной прогонки [9]. В результате имеем

следующие рекуррентные соотношения:

$$\delta \Pi = \int_v \sum_{i=1}^3 \sigma_{ij} \delta e_{ij} dv = \int_v [\sigma_{\alpha\alpha} \delta e_{\alpha\alpha} + \sigma_{\beta\beta} \delta e_{\beta\beta} +$$



[11] Abdusattarov A., Sabirov N., Ruzieva N. Mathematical models of pipeline deformation under repeated - variable loading taking into account damageability. Cite as: AIP Conference Proceedings 2637, 030014 (2022); Published Online: 20 October 2022. <https://doi.org/10.1063/5.0121481>.

[12] Abdusattarov A., Ruzieva N., Sabirov N. and Abdukadirov F. Mathematical models of deformation of underground pipelines interacting with the ground under spatial-variable loading. AIP Conference Proceedings 2612, 040015-1 - 040015-14, –2023. 10.1063/5.0116043.

Информация об авторах/ Information about the authors

Абдусаттаров А. Ташкентский государственный
транспортный университет



B. Kodirov, S. Shaumarov, S. Kandakhorov

Evaluation of spatial-structural properties and thermal technical indicators of autoclave-free aerated concrete produced from industrial waste.....112

B. Kodirov, S. Shaumarov, S. Kandakhorov

Analysis of technological properties of heat-insulating aerated concrete.....118

2 section. Building structures of buildings and constructions, modern methods of calculation and design

L. Bocharova, K. Muhammadsoliye

Study of the efficiency of using thin-walled structures in industrial building covering123

A. Kholmurodov

Effective steel structures for industrial buildings.....127

Kh. Akramov, J. Tokhirov, H. Samadov

Experimental investigation of load-bearing capacity of three-layer panels with insulation layer based on rice crete.....131

A. Abdusattarov

Models of deformation of main pipelines under repeated-variable loading considering material damageability.....135

G. Fridman, Sh. Turakulova

Calculation of a steel prestressed truss with a span of 60 m, taking into account seismic impacts.....139

Kh. Umarov, Yu. Tursinaliyeva

Geotechnical risk assessment and monitoring of the railway tunnel on the Angren - Pop section.....144

N. Khudayberdiyev, S. Khudaykulov

Calculations of seismic loads of the Rezaksai Reservoir.....148

S. Razzakov, D. Berdakov

Calculation of joints of bending wooden structural elements in ANSYS Workbench.....152

A. Abdujabarov, P. Begmatov, G. Khalfin

The use of armogrun structures to strengthen the railway roadbed.....157