

Baş redaktortex. üzrə f.d. **Qarayev A.N.** -AzİMETİ**Baş redaktorun müavini**tex. üzrə f.d. **Yusifov N.R.** -AzİMETİ**Məsul katib**iqt. üzrə f.d. **Şirinova N.S.**-AzİMETİ**Redaksiya heyəti**t.e.d., prof. **Seyfullayev X.Q.**-AzİMETİmem.dok. **Abdullayeva N.C.**-AzMİUm.d.,prof. **Əbdülrəhimov R.H.** -AzMİUt.e.d.,prof. **Hacıyev M.Ə.** -AzMİUm.d.,prof. **Nağıyev N.H.** -AzMİUtex. üzrə f.d. **Eminov Y.M.** -AzİMETİtex. üzrə f.d. **Əmrahov A.T.** -AzİMETİtex. üzrə f.d. **Həbibov F.H.** - AzİMETİiqt. üzrə f.d. **Nuriyev E.S.** -AzİMETİtex. üzrə f.d. **Poluxov İ.X.** - FHNtex. üzrə f.d. **Rzayev R.A.** - AzİMETİ

Təsisçi :
AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI
DÖVLƏT ŞƏHƏRSALMA VƏ
ARXİTEKTURA KOMİTƏSİ

AZƏRBAYCAN
İNŞAAT VƏ MEMARLIQ
ELMİ-TƏDQIQAT İNSTİTUTU

Hüquqi ünvanı :

Az 0014, Bakı ş.
M.Füzuli küç. 65

Əlaqə telefonları:

(012) 596 37 28, 596 37 60

E-mail:

elmikatib@azimeti.az
azimeti_elmikatib@mail.ru

Kompüter dizaynı:

Mehtiyeva N.Q.

MÜNDƏRİCAT

- Hacıyev M.Ə., Əliyev E.R.** Betonun qeyri-xətti irsi sürüngənliyini nəzərə almaqla dəmir-beton elementin əyilməsi 2
- Rzayev R.A., Oxotnikov V.A., Əliyev C.A. və başqaları** Monolit dəmir-beton tirsiz örtüklərin tədqiqi 15
- Габиров Ф.Г.** Исследование процесса усадки глинистых грунтов..... 22
- Кахраманова Ш.Ш.** Современные проблемы развития жилых массивов города Баку 36
- Багирова-Ибрагимли Г.А.** Современные состояния промышленных территорий Абшерона 43

УДК 624.072

**BETONUN QEYRİ-XƏTTİ İRSİ SÜRÜNGƏNLIYINI NƏZƏRƏ ALMAQLA
DƏMİR-BETON ELEMENTİN ƏYİLMƏSİ**

t.e.d., prof. Hacıyev M.Ə., dissertant Əliyev E.R. Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti

**ИЗГИБ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ЭЛЕМЕНТА С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОЙ
ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА**

д.т.н., проф. Гаджиев М.А., диссертант Алиев Э.Р.

Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства

**BENDING OF A REINFORCED CONCRETE ELEMENT WITH CONSIDERED
NON-LINEAR CREEP OF CONCRETE**

doctor of technical sciences Hacıyev M.A, thesis Aliev E.R.

Azerbaijan University of Architecture and Construction

Аннотация: Как известно нелинейная ползучесть бетона оказывает существенное влияние на формирование напряженно-деформированного состояния изгибаемых железобетонных элементов. Поэтому надежное определение напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов с учетом нелинейно наследственной ползучести бетона имеет важное значение для расчета этих конструкций. Надежность получаемых результатов расчета повышается за счет применения более совершенных уравнений ползучести бетона, которое намного усложняет инженерные расчеты. В статье с применением бетона уравнения нелинейно наследственной ползучести в форме, предложенной В.М.Бондаренко

$$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_b(t)}{E_b(t)} \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \int_{t_0}^t \sigma_b(\tau) \cdot \left[1 + \nu_2 \cdot \left(\frac{\sigma_b(\tau)}{R_b(\tau)} \right)^{m_2} \right] \frac{\partial C^*(t, \tau)}{\partial \tau} \text{ при аппроксимации меры}$$

ползучести по С.В.Александровскому $C^*(t, \tau) = \frac{1}{E_b(\tau)} - \frac{1}{E_b(t)} + C(t, \tau)$, а меру простой ползучести

старееющего бетона в форме $C(t, \tau) = (C_0 + A \cdot e^{-\gamma \tau}) \cdot (1 - B \cdot e^{-\gamma_1(t-\tau)})$ составлен дифференциальный аналог уравнения ползучести в виде дифференциального уравнения второго порядка с переменными коэффициентами. Исследование напряженно-деформированного состояния сведено к решению задачи Коши для системы дифференциальных уравнений. Разработанная методика позволяет учитывать увеличение во времени модуля упруго мгновенных деформаций $E_b(t)$ и прочности $R_b(t)$. На основании проведенных численных экспериментов установлено, что наиболее существенное влияние на формирование напряженно-деформированного состояния изгибаемого элемента оказывает нелинейность мгновенного деформирования.

Ключевые слова: бетон, арматура, деформация, напряжение, ползучесть, нелинейность упруго мгновенных деформаций.

Xülasə: Məlum olduğu kimi betonun qeyr-xətti sürüngenliyi əyilməyə işləyən dəmirbeton elementlərdə formalaşan gərginlikli defirmasiya halına ciddi təsir göstərir. Ona görə də betonun qeyr-xətti sürüngenliyini nəzərə almaqla əyilən dəmirbeton elementlərin gərginlikli deformasiya halının etibarlı təyin olunması dəmirbeton konstruksiyaların hesablanmasında mühüm praktiki əhəmiyyəti olan bir məsələdir. Əlbəttə ki, hesablama nəticəsində etibarlı həllərin alınması ilk növbədə hesablamları kifayət qədər çətinləşdirən mükəmməl sürüngenlik tənliklərinin tətbiqi ilə mümkündür. Məqalədə sürüngenlik meyarı S.V.Aleksandrovskiy tərəfindən təklif olunmuş $C^*(t, \tau) = \frac{1}{E_b(\tau)} - \frac{1}{E_b(t)} + C(t, \tau)$

bərabərliyinə əsasən, sadə sürüngenlik meyarı isə $C(t, \tau) = (C_0 + A \cdot e^{-\gamma \tau}) \cdot (1 - B \cdot e^{-\gamma_1(t-\tau)})$ olan halda V.M.Bondarenko tərəfindən təklif olunmuş

$$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_b(t)}{E_b(t)} \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \int_{t_0}^t \sigma_b(\tau) \cdot \left[1 + \nu_2 \cdot \left(\frac{\sigma_b(\tau)}{R_b(\tau)} \right)^{m_2} \right] \frac{\partial C^*(t, \tau)}{\partial \tau} \text{ qeyr-xətti irsi sürüngenlik}$$

tənliyinin ikinci tərtib dəyişən əmsallı differensial tənlik şəklində differensial analoqu qurulmuşdur. Gərginlikli deformasiya halının tədqiqi dəyişən əmsallı differensial tənliklər sistemi üçün Koşi

məsələsinin həllinə gətirilmişdir. İşlənmiş metodika ani deformasiyalar modulu $E_b(t)$ və möhkəmlik $R_b(t)$ zmana görə artmasını da nəzərə almağa imkan verir. İşlənmiş metodika əsasında aparılmış ədədi eksperimentlər nəticəsində müəyyənləşdirilmişdir ki, əyilən dəmirbeton elementlərdə formalaşan gərginlikli deformasiya halına daha çox təsir edən ani elastiki deformasiyaların qeyri-xəttiliyidir.

Açar sözləri: beton, armatura, deformasiya, gərginlik, srüngənlik, ani elastiki deformasiyaların qeyri-xəttiliyi.

Summary: As is known, nonlinear creep of concrete has a significant influence on the formation of the stress-strain state of bending reinforced concrete elements. Therefore, reliable determination of the stress-strain state of reinforced concrete elements, with taken into account the nonlinearly hereditary creep of concrete, is of great importance for the calculation of these structures. The reliability of the calculation outputs is enhanced by applying more advanced equations for concrete creep, which significantly complicates engineering calculations. In the article, the equations of nonlinearly hereditary creep of concrete, in the following form, proposed by V.M. Bondarenko

$$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_b(t)}{E_b(t)} \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \int_{t_0}^t \sigma_b(\tau) \cdot \left[1 + \nu_2 \cdot \left(\frac{\sigma_b(\tau)}{R_b(\tau)} \right)^{m_2} \right] \frac{\partial C^*(t, \tau)}{\partial \tau}$$

With approximating of the creep measures according to SV Aleksandrovskii

$C^*(t, \tau) = \frac{1}{E_b(\tau)} - \frac{1}{E_b(t)} + C(t, \tau)$ and with measure of the simple creep of aging concrete in the form

$C(t, \tau) = (C_0 + A \cdot e^{-\gamma \cdot \tau}) \cdot (1 - B \cdot e^{-\gamma_1 \cdot (t - \tau)})$ a differential analog of the creep equation is built in the form of a second-order differential equation with variable coefficients. The study of the stress-strain state is brought to the solution of the Cauchy problem for a system of differential equations. The developed technique allows increasing the modulus of elastic instantaneous strains $E_b(t)$ and strength $R_b(t)$ in time. Based on the carried out numerical experiments, it is identified that the most significant effect on the formation of the stress-strain state of the bending element is exerted by the nonlinearity of instantaneous deformation

Key words: concrete, reinforcement, deformation, stress, creep, nonlinearity of elastically instantaneous deformations

Уравнение ползучести бетона при сжатии принимается в форме В.М.Бондаренко [1], в котором учитывается нелинейности упруго мгновенных и длительных деформаций. Как показывают исследования проф. Р.С.Санжаровского [2,3,4,5] и М.А.Гаджиева [6] нелинейность упруго мгновенных деформаций наиболее сильно влияет на формирование напряженно-деформированного состояния нежели другие факторы. С этой точки зрения применение уравнения (1) оправдано:

$$\varepsilon_b(t) = \frac{\sigma_b(t)}{E_b(t)} \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \int_{t_0}^t \sigma_b(\tau) \cdot \left[1 + \nu_2 \cdot \left(\frac{\sigma_b(\tau)}{R_b(\tau)} \right)^{m_2} \right] \frac{\partial C^*(t, \tau)}{\partial \tau} \quad (1)$$

Параметры нелинейности мгновенного деформирования ν_1 и m_1 и длительного деформирования ν_2 и m_2 определяются в зависимости от класса бетона [1]. Принимая

меру ползучести согласно С.В.Александровскому [7] в виде $C^*(t, \tau) = \frac{1}{E_b(\tau)} - \frac{1}{E_b(t)} + C(t, \tau)$,

а меру простой ползучести согласно [8] в виде $C(t, \tau) = (C_0 + A \cdot e^{-\gamma \cdot \tau}) \cdot (1 - B \cdot e^{-\gamma_1 \cdot (t - \tau)})$ интегральное уравнение ползучести (1) представлено в адекватной дифференциальной форме:

$$\ddot{\varepsilon}_b(t) + \gamma_1 \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) = A_1(\sigma_b(t), E_b(t), R_b(t)) \cdot \ddot{\sigma}_b(t) + A_2(\sigma_b(t), E_b(t), R_b(t)) \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + A_3(\sigma_b(t), E_b(t), R_b(t)) \cdot \dot{\sigma}_b(t) + A_4(\sigma_b(t), E_b(t), R_b(t)). \quad (2)$$

Здесь введены обозначения

$$\begin{aligned}
A_1(\sigma_b(t), E_b(t), R_b(t)) &= \frac{1}{E_b(t)} \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right]; \\
A_2(\sigma_b(t), E_b(t), R_b(t)) &= \nu_1 \cdot m_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1 - 1} \cdot \frac{1}{E_b(t)} \cdot \frac{1}{R_b(t)}; \\
A_3(\sigma_b(t), E_b(t), R_b(t)) &= -2 \cdot \frac{1}{E_b^2(t)} \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] \cdot \dot{E}_b(t) - 2 \cdot \nu_1 \cdot m_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \times \\
&\times \frac{1}{E_b(t)} \cdot \frac{1}{R_b(t)} \cdot \dot{R}_b(t) + \gamma_1 \cdot \frac{1}{E_b(t)} \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] + \left[1 + \nu_2 \cdot (m_2 + 1) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_2} \right] \cdot D_1(t); \\
A_4(\sigma_b(t), E_b(t), R_b(t)) &= -\frac{\ddot{E}_b(t)}{E_b^2(t)} \cdot \sigma_b(t) \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \\
&- \nu_1 \cdot m_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1 + 1} \cdot \frac{\ddot{R}_b(t)}{E_b(t)} + 2 \cdot \nu_1 \cdot m_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1 + 1} \cdot \frac{\dot{E}_b(t) \cdot \dot{R}_b(t)}{E_b^2(t)} + \\
&+ \frac{2\dot{E}_b^2(t)}{E_b^3(t)} \cdot \sigma_b(t) \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] + \nu_1 \cdot m_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1 + 1} \cdot \frac{1}{E_b(t)} \cdot \frac{1}{R_b(t)} \cdot \dot{R}_b^2(t) - \\
&- \gamma_1 \cdot \frac{\dot{E}_b(t)}{E_b^2(t)} \cdot \sigma_b(t) \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1} \right] - \gamma_1 \cdot \nu_1 \cdot m_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_1 + 1} \cdot \frac{\dot{R}_b(t)}{E_b(t)} - \\
&- \nu_2 \cdot m_2 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_2 + 1} \cdot \dot{R}_b(t) \cdot D_1(t) + \sigma_b(t) \cdot \left[1 + \nu_2 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_2} \right] \cdot D_3(t). \tag{3}
\end{aligned}$$

При этом начальные условия записываются в виде

$$\varepsilon_b(t_0) = \sigma_b(t_0) \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1} \right]; \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
\dot{\varepsilon}_b(t_0) &= \frac{\dot{\sigma}_b(t_0)}{E_b(t_0)} \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1} \right] - \frac{\dot{E}_b(t_0)}{E_b^2(t_0)} \cdot \sigma_b(t_0) \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1} \right] - \\
&- \nu_1 \cdot m_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1 + 1} \cdot \frac{\dot{R}_b(t_0)}{E_b(t_0)} + \sigma_b(t_0) \cdot \left[1 + \nu_2 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_2} \right] \cdot D_1(t_0). \tag{5}
\end{aligned}$$

Отметим, что различные меры простой ползучести бетона систематизированы в [9,10,11]. Рассмотрим железобетонный элемент прямоугольного сечения с двойным армированием (рис.1) изгибаемым в общем случае переменным во времени моментом $M(t)$.

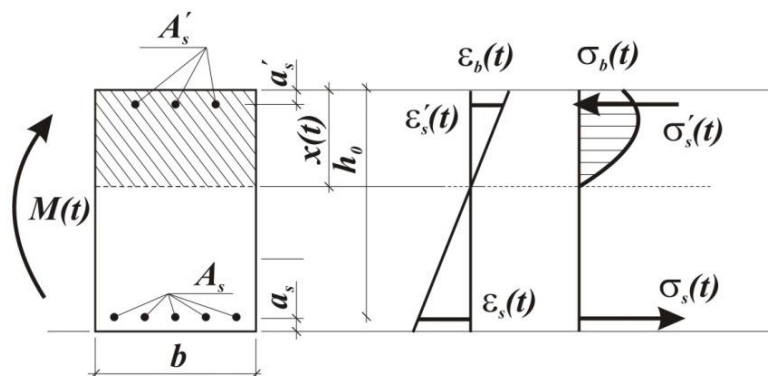


Рис.1. Расчетная схема железобетонного элемента с двойным армированием.

При построении расчетной модели принимаются следующие общепринятые гипотезы:

- ♣ Работа бетона на растяжение не учитывается;
- ♣ Для комплексного сечения даже при наличии трещин считается справедливым гипотеза плоских сечений Бернулли;
- ♣ В сжатой части сечения бетон деформируется подчиняясь нелинейно наследственному уравнению;
- ♣ Арматурные стержни деформируются подчиняясь двухлинейной диаграмме деформирования с ограниченной площадкой текучести;
- ♣ В общем случае модуль упруго-мгновенных деформаций $E_b(t)$ и прочность при сжатии $R_b(t)$ бетона являются переменными величинами.

На основании принятой диаграммы деформирования арматурных стержней для напряжений в них получим выражения:

$$\sigma'_s(t) = \begin{cases} E'_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s); & \text{при } \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s) \right| < \varepsilon'_m; \\ R'_s; & \text{при } \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s) \right| \geq \varepsilon'_m \end{cases} \quad (6)$$

$$\sigma_s(t) = \begin{cases} E_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0); & \text{при } \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0) \right| < \varepsilon_m; \\ -R_s; & \text{при } \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0) \right| \geq \varepsilon_m. \end{cases} \quad (7)$$

Тогда для нормальной силы и изгибающего момента, приходящих на долю арматурных стержней имеем:

$$N_s(t) = \sigma'_s(t) \cdot A'_s + \sigma_s(t) \cdot A_s; \quad M_s(t) = \sigma'_s(t) \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s). \quad (8)$$

Согласно исследованиям В.М.Бондаренко [1,12] закон изменения сжимающих напряжений по высоте сечения может быть принят в виде

$$\sigma_{bz}(t) = \sigma_b(t) \cdot \left(\frac{z + x(t) - h_0}{x(t)} \right)^{n_\sigma(t)}. \quad (9)$$

Здесь параметр полноты эпюры сжимающих напряжений в бетоне выражается через фибровое напряжение следующим образом:

$$n_\sigma(t) = 1 - (1 - f_0) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_\sigma}. \quad (10)$$

Как показали исследования В.М.Бондаренко [1] и его учеников параметр m_σ может быть выражен через параметр нелинейности мгновенного деформирования m_1 следующим образом: $m_\sigma \approx \frac{2}{3} \cdot m_1$. С учетом (10) для нормальной силы и изгибающего момента, приходящего на долю бетона получим выражения:

$$N_b(t) = \sigma_b(t) \cdot b \cdot \frac{x(t)}{n_\sigma(t) + 1}; \quad M_b(t) = \sigma_b(t) \cdot b \cdot x(t) \cdot \left[\frac{x(t)}{n_\sigma(t) + 2} + \frac{h_0 - x(t)}{n_\sigma(t) + 1} \right]. \quad (11)$$

На основании полученных выражений составим уравнение равновесия для нормального сечения с двойным армированием:

$$N_b(t) + N_s(t) = 0; \quad M_b(t) + M_s(t) = M(t). \quad (12)$$

Полученные уравнения (6), (7), (8), (9), (10), (11) и (12) представляют собой разрешающую систему нелинейных уравнений рассматриваемой задачи. Так как основное уравнение нелинейной ползучести (2) является дифференциальным уравнением второго порядка с переменными коэффициентами, продифференцируем полученные зависимости

(6), (7), (8), (9), (10), (11) и (12) один раз по времени t , тогда получим

$$\begin{aligned}\dot{\sigma}'_s(t) &= \frac{\partial \sigma'_s(t)}{\partial \varepsilon_b(t)} \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) + \frac{\partial \sigma'_s(t)}{\partial x(t)} \cdot \dot{x}(t) = W_1(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) + W_2 \cdot \dot{x}(t); \\ \dot{\sigma}_s(t) &= \frac{\partial \sigma_s(t)}{\partial \varepsilon_b(t)} \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) + \frac{\partial \sigma_s(t)}{\partial x(t)} \cdot \dot{x}(t) = W_3(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) + W_4 \cdot \dot{x}(t); \\ \dot{N}_s(t) &= \dot{\sigma}'_s(t) \cdot A'_s + \dot{\sigma}_s(t) \cdot A_s; \quad \dot{M}_s(t) = \dot{\sigma}'_s(t) \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s); \\ \dot{n}_\sigma(t) &= \frac{\partial n_\sigma(t)}{\partial \sigma_b(t)} \cdot \dot{\sigma}_b(t) + \frac{\partial n_\sigma(t)}{\partial R_b(t)} \cdot \dot{R}_b(t) = W_5(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) + W_6 \cdot \dot{R}_b(t); \\ \dot{M}_b(t) &= \frac{\partial M_b(t)}{\partial \sigma_b(t)} \cdot \dot{\sigma}_b(t) + \frac{\partial M_b(t)}{\partial n_\sigma(t)} \cdot \dot{n}_\sigma(t) + \frac{\partial M_b(t)}{\partial x(t)} \cdot \dot{x}(t) = W_7(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) + W_8(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + W_9(t) \cdot \dot{x}(t); \\ \dot{N}_b(t) &= \frac{\partial N_b(t)}{\partial \sigma_b(t)} \cdot \dot{\sigma}_b(t) + \frac{\partial N_b(t)}{\partial n_\sigma(t)} \cdot \dot{n}_\sigma(t) + \frac{\partial N_b(t)}{\partial x(t)} \cdot \dot{x}(t) = W_{10}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) + W_{11}(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + W_{12}(t) \cdot \dot{x}(t); \\ \dot{N}_b(t) + \dot{N}_s(t) &= 0; \quad \dot{M}_b(t) + \dot{M}_s(t) = \dot{M}(t).\end{aligned}\quad (13)$$

Здесь введены обозначения

$$\begin{aligned}W_1(t) &= \begin{cases} E'_s \cdot \frac{1}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s); & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s) \right| < \varepsilon'_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s) \right| \geq \varepsilon'_m; \end{cases} \\ W_2(t) &= \begin{cases} a'_s \cdot E'_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t)}{x^2(t)}; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s) \right| < \varepsilon'_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s) \right| \geq \varepsilon'_m; \end{cases} \\ W_3(t) &= \begin{cases} E_s \cdot \frac{1}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0); & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0) \right| < \varepsilon_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0) \right| \geq \varepsilon_m; \end{cases} \\ W_4(t) &= \begin{cases} E_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t)}{x^2(t)} \cdot h_0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0) \right| < \varepsilon_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0) \right| \geq \varepsilon_m; \end{cases} \\ W_5(t) &= -m_\sigma \cdot (1 - f_0) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_\sigma - 1} \cdot \frac{1}{R_b(t)}; \quad W_6(t) = m_\sigma \cdot (1 - f_0) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_\sigma} \cdot \frac{1}{R_b(t)}; \\ W_7(t) &= b \cdot x(t) \cdot \left[\frac{x(t)}{n_\sigma(t) + 2} + \frac{h_0 - x(t)}{n_\sigma(t) + 1} \right]; \quad W_8(t) = -\sigma_b(t) \cdot b \cdot x(t) \cdot \left[\frac{x(t)}{(n_\sigma(t) + 2)^2} + \frac{h_0 - x(t)}{(n_\sigma(t) + 1)^2} \right]; \\ W_9(t) &= \sigma_b(t) \cdot b \cdot \left[\frac{2x(t)}{n_\sigma(t) + 2} + \frac{h_0 - 2x(t)}{n_\sigma(t) + 1} \right]; \quad W_{10}(t) = b \cdot \frac{x(t)}{n_\sigma(t) + 1}; \\ W_{11}(t) &= -\sigma_b(t) \cdot b \cdot \frac{x(t)}{(n_\sigma(t) + 1)^2}; \quad W_{12}(t) = \sigma_b(t) \cdot b \cdot \frac{1}{n_\sigma(t) + 1}.\end{aligned}\quad (14)$$

Продифференцировав еще раз по времени зависимости (13) найдем:

$$\begin{aligned}
\ddot{\sigma}'_s(t) &= \frac{\partial \sigma'_s(t)}{\partial \varepsilon_b(t)} \cdot \ddot{\varepsilon}_b(t) + \frac{\partial \sigma'_s(t)}{\partial x(t)} \cdot \ddot{x}(t) + 2 \cdot \frac{\partial^2 \sigma'_s(t)}{\partial \varepsilon_b(t) \partial x(t)} \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + \frac{\partial^2 \sigma'_s(t)}{\partial x(t)^2} \cdot \dot{x}^2(t) = \\
&= W_1(t) \cdot \ddot{\varepsilon}_b(t) + W_2(t) \cdot \ddot{x}(t) + 2W_{13}(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + W_{14}(t) \cdot \dot{x}^2(t) \quad ; \\
\ddot{\sigma}_s(t) &= \frac{\partial \sigma_s(t)}{\partial \varepsilon_b(t)} \cdot \ddot{\varepsilon}_b(t) + \frac{\partial \sigma_s(t)}{\partial x(t)} \cdot \ddot{x}(t) + 2 \cdot \frac{\partial^2 \sigma_s(t)}{\partial \varepsilon_b(t) \partial x(t)} \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + \frac{\partial^2 \sigma_s(t)}{\partial x(t)^2} \cdot \dot{x}^2(t) = \\
&= W_3(t) \cdot \ddot{\varepsilon}_b(t) + W_4(t) \cdot \ddot{x}(t) + 2W_{15}(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + W_{16}(t) \cdot \dot{x}^2(t) \quad ; \\
\ddot{N}_s(t) &= \ddot{\sigma}'_s(t) \cdot A'_s + \ddot{\sigma}_s(t) \cdot A_s; \quad \ddot{M}_s(t) = \ddot{\sigma}'_s(t) \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s) \quad ; \\
\ddot{n}_\sigma(t) &= \frac{\partial n_\sigma(t)}{\partial \sigma_b(t)} \cdot \ddot{\sigma}_b(t) + \frac{\partial n_\sigma(t)}{\partial R_b(t)} \cdot \ddot{R}_b(t) + \frac{\partial^2 n_\sigma(t)}{\partial \sigma_b(t)^2} \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + \frac{\partial^2 n_\sigma(t)}{\partial R_b(t)^2} \cdot \dot{R}_b^2(t) + 2 \cdot \frac{\partial^2 n_\sigma(t)}{\partial R_b(t) \partial \sigma_b(t)} \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{R}_b(t) = \\
&= W_5(t) \cdot \ddot{\sigma}_b(t) + W_6(t) \cdot \ddot{R}_b(t) + W_{17}(t) \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + W_{18}(t) \cdot \dot{R}_b^2(t) + 2 \cdot W_{19}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{R}_b(t) \quad ; \\
\ddot{M}_b(t) &= \frac{\partial M_b(t)}{\partial \sigma_b(t)} \cdot \ddot{\sigma}_b(t) + \frac{\partial M_b(t)}{\partial n_\sigma(t)} \cdot \ddot{n}_\sigma(t) + \frac{\partial M_b(t)}{\partial x(t)} \cdot \ddot{x}(t) + 2 \cdot \frac{\partial^2 M_b(t)}{\partial \sigma_b(t) \partial n_\sigma(t)} \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + \\
&+ 2 \cdot \frac{\partial^2 M_b(t)}{\partial \sigma_b(t) \partial x(t)} \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + 2 \cdot \frac{\partial^2 M_b(t)}{\partial x(t) \partial n_\sigma(t)} \cdot \dot{x}(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + \frac{\partial^2 M_b(t)}{\partial n_\sigma(t)^2} \cdot \dot{n}_\sigma^2(t) + \frac{\partial^2 M_b(t)}{\partial x(t)^2} \cdot \dot{x}^2(t) = \\
&= W_7(t) \cdot \ddot{\sigma}_b(t) + W_8(t) \cdot \ddot{n}_\sigma(t) + W_9(t) \cdot \ddot{x}(t) + 2 \cdot W_{20}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + \\
&+ 2 \cdot W_{21}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + 2 \cdot W_{22}(t) \cdot \dot{x}(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + W_{23}(t) \cdot \dot{n}_\sigma^2(t) + W_{24}(t) \cdot \dot{x}^2(t) \quad ; \\
\dot{N}_b(t) &= \frac{\partial N_b(t)}{\partial \sigma_b(t)} \cdot \dot{\sigma}_b(t) + \frac{\partial N_b(t)}{\partial n_\sigma(t)} \cdot \dot{n}_\sigma(t) + \frac{\partial N_b(t)}{\partial x(t)} \cdot \dot{x}(t) + \frac{\partial^2 N_b(t)}{\partial \sigma_b(t)^2} \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + 2 \cdot \frac{\partial^2 N_b(t)}{\partial \sigma_b(t) \partial x(t)} \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + \\
&+ 2 \cdot \frac{\partial^2 N_b(t)}{\partial \sigma_b(t) \partial n_\sigma(t)} \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + 2 \cdot \frac{\partial^2 N_b(t)}{\partial n_\sigma(t) \partial x(t)} \cdot \dot{n}_\sigma(t) \cdot \dot{x}(t) + \frac{\partial^2 N_b(t)}{\partial n_\sigma(t)^2} \cdot \dot{n}_\sigma^2(t) + \frac{\partial^2 N_b(t)}{\partial x(t)^2} \cdot \dot{x}^2(t) = \\
&= W_{10}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) + W_{11}(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + W_{12}(t) \cdot \dot{x}(t) + 2 \cdot W_{25}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + \\
&+ 2 \cdot W_{26}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + 2 \cdot W_{27}(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) \cdot \dot{x}(t) + W_{28}(t) \cdot \dot{n}_\sigma^2(t) \quad ; \\
\ddot{N}_b(t) + \ddot{N}_s(t) &= 0; \quad \ddot{M}_b(t) + \ddot{M}_s(t) = \ddot{M}(t). \tag{15}
\end{aligned}$$

Здесь введены обозначения

$$\begin{aligned}
W_{13}(t) &= \begin{cases} \frac{E'_s \cdot a'_s}{x^2(t)}; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s) \right| < \varepsilon'_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s) \right| \geq \varepsilon'_m \quad ; \end{cases} \\
W_{14}(t) &= \begin{cases} -\frac{2E'_s \cdot a'_s}{x^3(t)} \cdot \varepsilon_b(t); & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s) \right| < \varepsilon'_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - a'_s) \right| \geq \varepsilon'_m \quad ; \end{cases} \\
W_{15}(t) &= \begin{cases} \frac{E_s \cdot h_0}{x^2(t)}; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0) \right| < \varepsilon_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0) \right| \geq \varepsilon_m \quad ; \end{cases} \\
W_{16}(t) &= \begin{cases} -\frac{2E_s \cdot h_0}{x^3(t)} \cdot \varepsilon_b(t); & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0) \right| < \varepsilon_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t)}{x(t)} \cdot (x(t) - h_0) \right| \geq \varepsilon_m \quad ; \end{cases}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{17}(t) &= -m_\sigma \cdot (m_\sigma - 1) \cdot (1 - f_0) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_\sigma - 1} \cdot \frac{1}{R_b^2(t)}; & W_{18}(t) &= -m_\sigma \cdot (m_\sigma + 1) \cdot (1 - f_0) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_\sigma} \cdot \frac{1}{R_b^2(t)}; \\
W_{19}(t) &= m_\sigma^2 \cdot (1 - f_0) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t)}{R_b(t)} \right)^{m_\sigma - 1} \cdot \frac{1}{R_b^2(t)}; & W_{20}(t) &= -b \cdot \left[\frac{x^2(t)}{(n_\sigma + 2)^2} + \frac{h_0 \cdot x(t) - x^2(t)}{(n_\sigma + 1)^2} \right]; \\
W_{21}(t) &= b \cdot \left[\frac{2x(t)}{n_\sigma + 2} + \frac{h_0 - 2x(t)}{n_\sigma + 1} \right]; & W_{22}(t) &= -b \cdot \sigma_b(t) \cdot \left[\frac{2x(t)}{(n_\sigma + 2)^2} + \frac{h_0 - 2x(t)}{(n_\sigma + 1)^2} \right]; \\
W_{23}(t) &= 2b \cdot \sigma_b(t) \cdot \left[\frac{x^2(t)}{(n_\sigma + 2)^3} + \frac{h_0 \cdot x(t) - x^2(t)}{(n_\sigma + 1)^3} \right]; & W_{24}(t) &= b \cdot \sigma_b(t) \cdot \left[\frac{2}{n_\sigma + 2} - \frac{2}{n_\sigma + 1} \right]; \\
W_{25}(t) &= \frac{b}{n_\sigma + 1}; & W_{26}(t) &= -\frac{b \cdot x(t)}{(n_\sigma + 1)^2}; & W_{27}(t) &= -\frac{b \cdot \sigma_b(t)}{(n_\sigma + 1)^2}; & W_{28}(t) &= \frac{2b \cdot \sigma_b(t) \cdot x(t)}{(n_\sigma + 1)^3}. \quad (16)
\end{aligned}$$

Теперь присоединив полученной системе дифференциальных уравнений основное уравнение ползучести (2), записанное в дифференциальной форме

$$\ddot{\varepsilon}_b(t) + \gamma_1 \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) = A_1(t) \cdot \ddot{\sigma}_b(t) + A_2(t) \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + A_3(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) + A_4(t) \quad (17)$$

имеем полную систему дифференциальных уравнений. Запишем полученную систему в следующей компактной форме

$$\begin{aligned}
\ddot{\sigma}'_s(t) &= W_1(t) \cdot \ddot{\varepsilon}_b(t) + W_2(t) \cdot \ddot{x}(t) + 2W_{13}(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + W_{14}(t) \cdot \dot{x}^2(t); \\
\ddot{\sigma}_s(t) &= W_3(t) \cdot \ddot{\varepsilon}_b(t) + W_4(t) \cdot \ddot{x}(t) + 2W_{15}(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + W_{16}(t) \cdot \dot{x}^2(t); \\
\ddot{N}_s(t) &= \ddot{\sigma}'_s(t) \cdot A'_s + \ddot{\sigma}_s(t) \cdot A_s; & \ddot{M}_s(t) &= \ddot{\sigma}'_s(t) \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s); \\
\ddot{n}_\sigma(t) &= W_6(t) \cdot \ddot{\sigma}_b(t) + W_7(t) \cdot \ddot{R}_b(t) + W_{17}(t) \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + W_{18}(t) \cdot \dot{R}_b^2(t) + 2 \cdot W_{19}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{R}_b(t); \\
\ddot{M}_b(t) &= W_7(t) \cdot \ddot{\sigma}_b(t) + W_8(t) \cdot \ddot{n}_\sigma(t) + W_9(t) \cdot \ddot{x}(t) + 2 \cdot W_{20}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + \\
&+ 2 \cdot W_{21}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + 2 \cdot W_{22}(t) \cdot \dot{x}(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + W_{23}(t) \cdot \dot{n}_\sigma^2(t) + W_{24}(t) \cdot \dot{x}^2(t); \\
\ddot{N}_b(t) &= W_{10}(t) \cdot \ddot{\sigma}_b(t) + W_{11}(t) \cdot \ddot{n}_\sigma(t) + W_{12}(t) \cdot \ddot{x}(t) + 2 \cdot W_{25}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + \\
&+ 2 \cdot W_{26}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + 2 \cdot W_{27}(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) \cdot \dot{x}(t) + W_{28}(t) \cdot \dot{n}_\sigma^2(t); \\
\ddot{N}_b(t) + \ddot{N}_s(t) &= 0; & \ddot{M}_b(t) + \ddot{M}_s(t) &= \ddot{M}(t). \\
\ddot{\varepsilon}_b(t) + \gamma_1 \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) &= A_1(t) \cdot \ddot{\sigma}_b(t) + A_2(t) \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + A_3(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) + A_4(t). \quad (18)
\end{aligned}$$

Как видно данная система линейна относительно вторых производных, поэтому она может быть решена относительно старших производных. Решив эту систему относительно старших производных имеем

$$\begin{cases}
\ddot{\sigma}_b(t) = \delta_1(t) \\
\ddot{x}(t) = \delta_2(t) \\
\ddot{N}_s(t) = \delta_3(t) \\
\ddot{M}_s(t) = \delta_4(t) \\
\ddot{M}_b(t) = \delta_5(t) \\
\ddot{N}_b(t) = \delta_6(t) \\
\ddot{\varepsilon}_b(t) = \delta_7(t) \\
\ddot{\sigma}'_s(t) = \delta_8(t) \\
\ddot{\sigma}_s(t) = \delta_9(t) \\
\ddot{n}_\sigma(t) = \delta_{10}(t)
\end{cases} \cdot \quad (19)$$

Здесь введены обозначения

$$\begin{aligned}
\delta_3(t) &= W_{52}(t) \cdot \delta_1(t) + W_{53}(t) \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + W_{54}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) + W_{55}(t) - \\
&- W_{56}(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) + W_{30}(t) \cdot \delta_2(t) + W_{31}(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + W_{32}(t) \cdot \dot{x}^2(t) ; \\
\delta_4(t) &= W_{57}(t) \cdot \delta_1(t) + W_{58}(t) \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + W_{59}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) + W_{60}(t) - \\
&- W_{61}(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) + W_{34}(t) \cdot \delta_2(t) + W_{35}(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + W_{36}(t) \cdot \dot{x}^2(t) ; \\
\delta_5(t) &= W_9(t) \cdot \delta_2(t) + W_{37}(t) \cdot \delta_1(t) + W_{38}(t) \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + \\
&+ W_{39}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{R}_b(t) + W_{40}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + W_{41}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + \\
&+ W_{42}(t) \cdot \dot{x}(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + W_{43}(t) \cdot \dot{R}_b^2(t) + W_{23}(t) \cdot \dot{n}_\sigma^2(t) + W_{24}(t) \cdot \dot{x}^2(t) ; \\
\delta_6(t) &= W_{44}(t) \cdot \delta_1(t) + W_{12}(t) \cdot \delta_2(t) + W_{45}(t) \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + \\
&+ W_{46}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{R}_b(t) + W_{47}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) + W_{48}(t) \cdot \dot{n}_\sigma(t) \cdot \dot{x}(t) + \\
&+ W_{49}(t) \cdot \dot{R}_b^2(t) + W_{50}(t) \cdot \ddot{R}_b(t) + W_{51}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + W_{28}(t) \cdot \dot{n}_\sigma^2(t) ; \\
\delta_7(t) &= -\gamma_1 \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) + A_1(t) \cdot \delta_1(t) + A_2(t) \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + A_3(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) + A_4(t) ; \\
\delta_8(t) &= W_1(t) \cdot \delta_7(t) + W_2(t) \cdot \delta_2(t) + 2W_{13}(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + W_{14}(t) \cdot \dot{x}^2(t) ; \\
\delta_9(t) &= W_3(t) \cdot \delta_7(t) + W_4(t) \cdot \delta_2(t) + 2W_{15}(t) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t) \cdot \dot{x}(t) + W_{16}(t) \cdot \dot{x}^2(t) ; \\
\delta_{10}(t) &= W_6(t) \cdot \delta_1(t) + W_7(t) \cdot \ddot{R}_b(t) + W_{17}(t) \cdot \dot{\sigma}_b^2(t) + W_{18}(t) \cdot \dot{R}_b^2(t) + 2 \cdot W_{19}(t) \cdot \dot{\sigma}_b(t) \cdot \dot{R}_b(t). \quad (20)
\end{aligned}$$

Вводя вектор неизвестных

$$\begin{aligned}
\{Z(t)\} &= \{\sigma_b(t); x(t); \varepsilon_b(t); n_\sigma(t); \sigma'_s(t); \sigma_s(t); N_s(t); M_s(t); N_b(t); M_b(t); \\
&\dot{\sigma}_b(t); \dot{x}(t); \dot{\varepsilon}_b(t); \dot{n}_\sigma(t); \dot{\sigma}'_s(t); \dot{\sigma}_s(t); \dot{N}_s(t); \dot{M}_s(t); \dot{N}_b(t); \dot{M}_b(t)\}^t = \\
&= \{z_1(t); z_2(t); z_3(t); z_4(t); z_5(t); z_6(t); z_7(t); z_8(t); z_9(t); z_{10}(t); \\
&z_{11}(t); z_{12}(t); z_{13}(t); z_{14}(t); z_{15}(t); z_{16}(t); z_{17}(t); z_{18}(t); z_{19}(t); z_{20}(t)\}^t
\end{aligned} \quad (21)$$

нормальную систему дифференциальных уравнений можно представить в виде:

$$\begin{aligned}
\dot{z}_1(t) &= z_{11}(t); \quad \dot{z}_2(t) = z_{12}(t); \quad \dot{z}_3(t) = z_{13}(t); \quad \dot{z}_4(t) = z_{14}(t); \\
\dot{z}_5(t) &= z_{15}(t); \quad \dot{z}_6(t) = z_{16}(t); \quad \dot{z}_7(t) = z_{17}(t); \quad \dot{z}_8(t) = z_{18}(t); \\
\dot{z}_9(t) &= z_{19}(t); \quad \dot{z}_{10}(t) = z_{20}(t); \quad \dot{z}_{11}(t) = \delta_1(t); \quad \dot{z}_{12}(t) = \delta_2(t); \\
\dot{z}_{13}(t) &= \delta_7(t); \quad \dot{z}_{14}(t) = \delta_{10}(t); \quad \dot{z}_{15}(t) = \delta_8(t); \quad \dot{z}_{16}(t) = \delta_9(t); \\
\dot{z}_{17}(t) &= \delta_3(t); \quad \dot{z}_{18}(t) = \delta_4(t); \quad \dot{z}_{19}(t) = \delta_6(t); \quad \dot{z}_{20}(t) = \delta_5(t). \quad (22)
\end{aligned}$$

Полученная нормальная система дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами (22) есть разрешающая система нелинейных дифференциальных уравнений рассматриваемой задачи. Как видно из вышеприведенных выражений не представляется возможным построение аналитического решения данной системы. К ее решению предлагается применить прошедших хорошую апробацию при решении инженерных задач одношаговый численный метод Рунге-Кутты четвертого порядка [13,14]. Запишем полученную нормальную систему дифференциальных уравнений в вектор форме:

$$\frac{d}{dt} \{Z(t)\} = \{\Omega(\{Z(t)\}, t)\}. \quad (23)$$

В начальный момент времени при $t = t_0$ система имеет решение $\{Z_0\} = \{Z(t_0)\}$, полученные на основании начальных условий. При шаге решения Δt при $t_1 = t_0 + \Delta t$

решение вычисляется с помощью четырех коэффициентов векторов, вычисляемых по нижеприведенным выражениям [13,14]:

$$\{K_1\} = \Delta t \cdot \{\Omega(\{Z_0\}, t_0)\}; \quad \{K_2\} = \Delta t \cdot \left\{ \Omega \left(\{Z_0\} + \frac{1}{2} \cdot \{K_1\}, t_0 + \frac{\Delta t}{2} \right) \right\};$$

$$\{K_3\} = \Delta t \cdot \left\{ \Omega \left(\{Z_0\} + \frac{1}{2} \cdot \{K_2\}, t_0 + \frac{\Delta t}{2} \right) \right\}; \quad \{K_4\} = \Delta t \cdot \{\Omega(\{Z_0\} + \{K_3\}, t_0 + \Delta t)\}.$$

При этом значения искомым функций при $t_1 = t_0 + \Delta t$ вычисляется по равенству [12,13]:

$$\{Z\} = \{Z_0\} + \frac{1}{6} \cdot \{K_1\} + \frac{1}{3} \cdot \{K_2\} + \frac{1}{3} \cdot \{K_3\} + \frac{1}{6} \cdot \{K_4\}. \quad (23)$$

После чего принимая $t_0 = t_1$ и $\{Z_0\} = \{Z\}$ решение продолжается для последующих моментов времени.

Согласно начальным условиям основного уравнения нелинейно наследственной ползучести бетона первые десять параметров начального условия определяются из следующей системы нелинейных уравнений

$$\varepsilon_b(t_0) = \sigma_b(t_0) \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1} \right];$$

$$\sigma'_s(t_0) = \begin{cases} E'_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - a'_s); & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - a'_s) \right| < \varepsilon'_m; \\ R'_s; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - a'_s) \right| \geq \varepsilon'_m \end{cases};$$

$$\sigma_s(t_0) = \begin{cases} E_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - h_0); & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - h_0) \right| < \varepsilon_m; \\ -R_s; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - h_0) \right| \geq \varepsilon_m \end{cases};$$

$$N_s(t_0) = \sigma'_s(t_0) \cdot A'_s + \sigma_s(t_0) \cdot A_s; \quad M_s(t_0) = \sigma'_s(t_0) \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s);$$

$$n_\sigma(t_0) = 1 - (1 - f_0) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_\sigma};$$

$$M_b(t_0) = \sigma_b(t_0) \cdot b \cdot x(t_0) \cdot \left[\frac{x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 2} + \frac{h_0 - x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 1} \right]; \quad N_b(t_0) = \sigma_b(t_0) \cdot b \cdot \frac{x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 1};$$

$$N_b(t_0) + N_s(t_0) = 0; \quad M_b(t_0) + M_s(t_0) = M(t_0). \quad (24)$$

Полученная система алгебраических уравнений не допускает аналитическое решение. Поэтому ее решение строится по алгоритму, предложенному профессором М.А.Гаджиевым [15,16]. Следует отметить, что данный расчет имеет самостоятельное значение, т.к. позволяет рассчитывать железобетонные элементы прямоугольного профиля по нелинейной деформационной модели при кратковременном однократном статическом нагружении. Суть численного алгоритма решения заключается в том, что пределы изменения сжимающего напряжения в сжатой грани сечения $\sigma_b(t_0)$ заранее известно - $0 \leq \sigma_b(t_0) \leq R_b(t_0)$. Принимая значение этого напряжения определяем величину деформаций на сжатой грани сечения $\varepsilon_b(t_0)$ и параметр полноты эпюры напряжений $n_\sigma(t_0)$. Тогда параметры напряженно-деформированного состояния $\sigma'_s(t_0)$, $\sigma_s(t_0)$, $N_s(t_0)$, $N_b(t_0)$ становятся функциями высоты сжатой зоны $x(t_0)$. Для каждого

принятого значения напряжений $\sigma_b(t_0)$ величину высоты сжатой зоны $x(t_0)$ находим как решение нелинейного уравнения $N_b(t_0) + N_s(t_0) = 0$ методом деления отрезка пополам [13,14], после чего другие параметры напряженно-деформированного состояния без труда вычисляются и по последнему уравнению вычисляем момент, воспринимаемый сечением. Если при этом напомнить, что кривизна сечения $\chi(t_0) = \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)}$, то по описанному

алгоритму вычисления можно построить и зависимость «момент-кривизна».

По описанному алгоритму без труда вычисляются первые десять элементов начального вектора.

Оставшиеся десять начальных параметров определяются как решение следующей системы линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}'_s(t_0) &= W_1(t_0) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t_0) + W_2(t_0) \cdot \dot{x}(t_0); & \dot{\sigma}_s(t_0) &= W_3(t_0) \cdot \dot{\varepsilon}_b(t_0) + W_4 \cdot \dot{x}(t_0); \\ \dot{N}_s(t_0) &= \dot{\sigma}'_s(t_0) \cdot A'_s + \dot{\sigma}_s(t_0) \cdot A_s; & \dot{M}_s(t_0) &= \dot{\sigma}'_s(t_0) \cdot A'_s \cdot (h_0 - a'_s); \\ \dot{n}_\sigma(t_0) &= W_5(t_0) \cdot \dot{\sigma}_b(t_0) + W_6(t_0) \cdot \dot{R}_b(t_0); \\ \dot{M}_b(t_0) &= W_7(t_0) \cdot \dot{\sigma}_b(t_0) + W_8(t_0) \cdot \dot{n}_\sigma(t_0) + W_9(t_0) \cdot \dot{x}(t_0); \\ \dot{N}_b(t_0) &= W_{10}(t_0) \cdot \dot{\sigma}_b(t_0) + W_{11}(t_0) \cdot \dot{n}_\sigma(t_0) + W_{12}(t_0) \cdot \dot{x}(t_0); \\ \dot{N}_b(t_0) + \dot{N}_s(t_0) &= 0; & \dot{M}_b(t_0) + \dot{M}_s(t_0) &= \dot{M}(t_0); \\ \dot{\varepsilon}_b(t_0) &= B_1(\sigma_b(t_0), E_b(t_0), R_b(t_0)) \cdot \dot{\sigma}_b(t_0) + B_2(\sigma_b(t_0), E_b(t_0), R_b(t_0)). \end{aligned} \quad (25)$$

Здесь введены обозначения

$$\begin{aligned} W_1(t_0) &= \begin{cases} E'_s \cdot \frac{1}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - a'_s); & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - a'_s) \right| < \varepsilon'_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - a'_s) \right| \geq \varepsilon'_m; \end{cases} \\ W_2(t_0) &= \begin{cases} a'_s \cdot E'_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x^2(t_0)}; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - a'_s) \right| < \varepsilon'_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - a'_s) \right| \geq \varepsilon'_m; \end{cases} \\ W_3(t_0) &= \begin{cases} E_s \cdot \frac{1}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - h_0); & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - h_0) \right| < \varepsilon_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - h_0) \right| \geq \varepsilon_m; \end{cases} \\ W_4(t_0) &= \begin{cases} E_s \cdot \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x^2(t_0)} \cdot h_0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - h_0) \right| < \varepsilon_m \\ 0; & \text{npu} \quad \left| \frac{\varepsilon_b(t_0)}{x(t_0)} \cdot (x(t_0) - h_0) \right| \geq \varepsilon_m; \end{cases} \\ W_5(t_0) &= -m_\sigma \cdot (1 - f_0) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_\sigma - 1} \cdot \frac{1}{R_b(t_0)}; \\ W_6(t_0) &= m_\sigma \cdot (1 - f_0) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_\sigma} \cdot \frac{1}{R_b(t_0)}; \\ W_7(t_0) &= b \cdot x(t_0) \cdot \left[\frac{x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 2} + \frac{h_0 - x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 1} \right]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_8(t_0) &= -\sigma_b(t_0) \cdot b \cdot x(t_0) \cdot \left[\frac{x(t_0)}{(n_\sigma(t_0) + 2)^2} + \frac{h_0 - x(t_0)}{(n_\sigma(t_0) + 1)^2} \right]; \\
W_9(t_0) &= \sigma_b(t_0) \cdot b \cdot \left[\frac{2x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 2} + \frac{h_0 - 2x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 1} \right]; \\
W_{10}(t_0) &= b \cdot \frac{x(t_0)}{n_\sigma(t_0) + 1}; \quad W_{11}(t_0) = -\sigma_b(t_0) \cdot b \cdot \frac{x(t_0)}{(n_\sigma(t_0) + 1)^2}; \quad W_{12}(t_0) = \sigma_b(t_0) \cdot b \cdot \frac{1}{n_\sigma(t_0) + 1}. \\
B_1(\sigma_b(t_0), E_b(t_0), R_b(t_0)) &= \frac{1}{E_b(t_0)} \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot (m_1 + 1) \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1} \right]; \\
B_2(\sigma_b(t_0), E_b(t_0), R_b(t_0)) &= \sigma_b(t_0) \cdot \left[1 + \nu_2 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_2} \right] \cdot D_1(t_0) - \\
&- \frac{\dot{E}_b(t_0)}{E_b^2(t_0)} \cdot \sigma_b(t_0) \cdot \left[1 + \nu_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1} \right] - \nu_1 \cdot m_1 \cdot \left(\frac{\sigma_b(t_0)}{R_b(t_0)} \right)^{m_1 + 1} \cdot \frac{\dot{R}_b(t_0)}{E_b(t_0)}; \\
D_1(t_0) &= \frac{\dot{E}_b(t_0)}{E_b^2(t_0)} + \gamma \cdot A \cdot e^{-\gamma \cdot t_0} + (\gamma_1 - \gamma) \cdot A \cdot B \cdot e^{-\gamma \cdot t_0} + \gamma_1 \cdot B \cdot C_0. \quad (26)
\end{aligned}$$

На алгоритмическом языке Turbo Pascal ABC составлена программа, реализующая выше описанный алгоритм вычисления с учетом нелинейно наследственной ползучести и с ее применением рассмотрен численный пример при следующих исходных данных:

$$\begin{aligned}
b \times h &= 60 \times 90 \text{ см}; \quad a'_s = a_s = 5 \text{ см}; \quad B = 0,6; \quad R_{b0} = 11500 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}; \quad E_{b0} = 27500000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}; \\
E'_s = E_s &= 200000000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}; \quad \alpha_R = 0,075 \frac{1}{\text{сутки}}; \quad R'_s = R_s = 350000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}; \quad A'_s = 19,63 \text{ см}^2; \\
A_s &= 40,72 \text{ см}^2; \quad C_0 = 1,078 \cdot 10^{-8} \frac{\text{м}^2}{\text{кН}}; \quad A = 1,582 \cdot 10^{-8} \frac{\text{м}^2}{\text{кН}}; \quad \gamma = 0,02 \frac{1}{\text{сутки}}; \\
\gamma_1 &= 0,03 \frac{1}{\text{сутки}}; \quad \beta_E = 0,575; \quad \alpha_E = 0,072 \frac{1}{\text{сутки}}; \quad \beta_R = 0,587; \quad M = 888,23 \text{ кН} \cdot \text{м}.
\end{aligned}$$

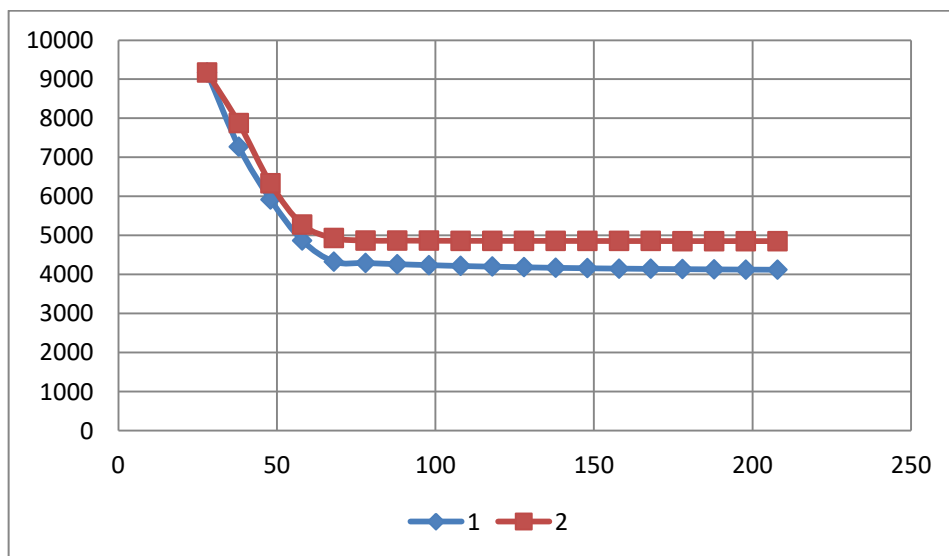


Рис.2. График изменения напряжения в бетоне сжатой грани $\sigma_b(t)$, $\frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$ от времени t , сутки: 1 – при двойном; 2 – при одинарном армировании.

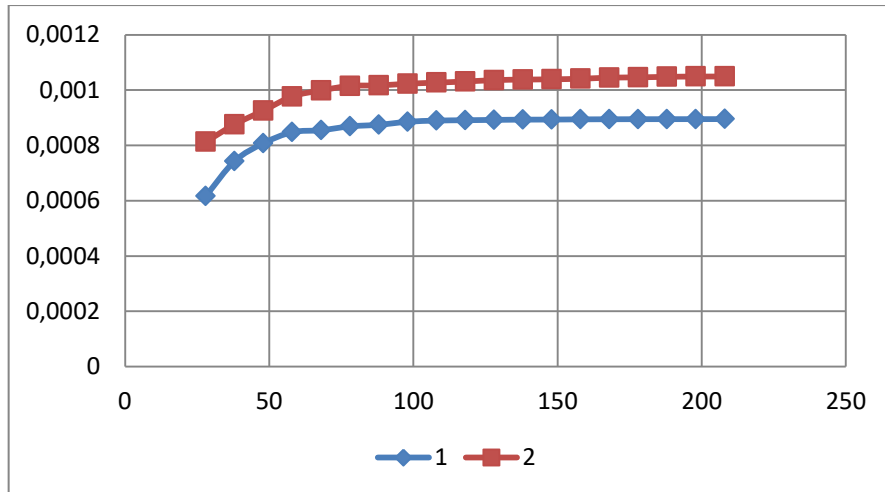


Рис.3. График изменения деформации в бетоне сжатой грани $\varepsilon_b(t)$ от времени t , сутки: 1 – при двойном; 2 – при одинарном армировании.

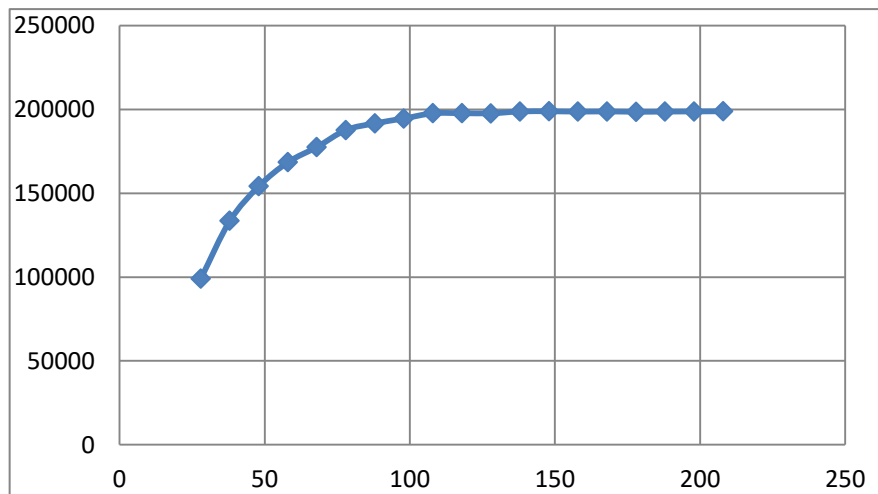


Рис.4. График изменения напряжения в сжатой арматуре $\sigma_b(t)$, $\frac{\kappa H}{m^2}$ от времени t , сутки: 1 – при двойном; 2 – при одинарном армировании.

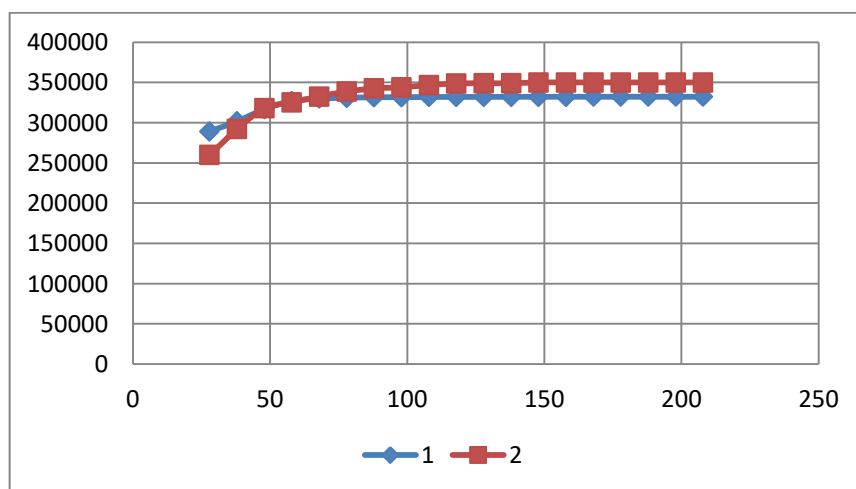


Рис.5. График изменения напряжения в сжатой арматуре $\sigma_b(t)$, $\frac{\kappa H}{m^2}$ от времени t , сутки: 1 – при двойном; 2 – при одинарном армировании.

По проведенным исследованиям можно сделать следующие выводы:

1. Разработана численная расчетная методика для определения напряженно-деформированного состояния с учетом нелинейно наследственной ползучести стареющего бетона.
2. На основании численных экспериментов установлено, что мгновенная нелинейность наиболее сильно влияет на формирование напряженно-деформированного состояния изгибаемого элемента.
3. Попутно разработана расчетная методика для определения параметров напряженно-деформированного состояния при кратковременном статическом нагружении.
4. Составленный авторами программный модуль позволяет проводить различные численные эксперименты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко В.М., Бондаренко С.В. Инженерные методы нелинейной теории железобетона. М., Стройиздат, 1982. – 287с.
2. Санжаровский Р.С. Проблемы теории ползучести. //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений-2013-№3, с. 28-34.
3. Санжаровский Р.С. Нелинейная наследственная теория ползучести. //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений-2014-№1, с. 63-68.
4. Санжаровский Р.С., Манченко М.М. Ползучесть бетона и его мгновенное нелинейное деформирование в расчетах железобетонных конструкций. //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений-2015-№2, с. 33-40.
5. Санжаровский Р.С., Манченко М.М. Нелинейная теория ползучесть бетона и современные нормы. //Строительная механика инженерных конструкций и сооружений-2015-№2, с. 33-40.
6. Гаджиев М.А., Халилов Г.А., Алаева С.М. Уравнение ползучести бетона с нисходящей ветвью и решение релаксационных задач на его основе. //Вестник Азербайджанской Инженерной Академии- 2017-№3, с. 118-127.
7. Александровский, С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести бетона. М. Стройиздат, 1976, 432 с.
8. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. М., НИИЖБ, 1987, 124 с.
9. Прокопович И.Е., Зедгенидзе В.А. Прикладная теория ползучести. М.: Стройиздат, 1980, 240 с.
10. Гольшев А.Б., Колчунов В.И.. Теория и расчёт железобетонных конструкций с учётом длительных процессов. Киев.: Талком, 2016. – 264 с.
11. Яценко Е.А., Корнилова С.И., Бовин А.А., Соссу Г. Теория ползучести железобетонных конструкций. Днепропетровск, изд-во ПГАСиА, 2000, 600 с.
12. Бондаренко В.М., Колчунов В.И.. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография. – М.: АСВ, 2004, 472 с.
13. Турчак Л. И., Плотников П. В. Основы численных методов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003, 304 с.
14. Демидович Б. П., Марон И. А.. Основы вычислительной математики: 8-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2011, 672 с.
15. Гаджиев М.А., Алаева С.М. Оценка точности упрощенных диаграмм евростандартов при исследовании несущей способности железобетонных колонн. //Вестник Азербайджанской Инженерной Академии- 2012-№1, с. 65-79.
16. Гаджиев М.А., Алиев Э.Р. Изгиб железобетонных элементов прямоугольного сечения по диаграммам евростандартов. //Вестник Азербайджанской Инженерной Академии- 2012-№2, с. 81-90.

UDK 699.84

MONOLİT DƏMİR-BETON TİRSİZ ÖRTÜKLƏRİN TƏDQIQI

tex. üzrə f.d., dosent R.A.Rzayev, V.A.Oxotnikov, C.A.Əliyev, V.M.Əliyev, E.V.Söhbətov, N.V.Yusifli
Azərbaycan İnşaat və Memarlıq Elmi-Tədqiqat İnstitutu

ИССЛЕДОВАНИЕ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БЕЗБАЛОЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ
к.т.н., доцент Р.А.Рзаев, В.А.Охотников, Дж.А.Алиев, В.М.Алиев, Э.В.Сохбатова, Н.В.Юсифли
Азербайджанский НИИ Строительства и Архитектуры

INVESTIGATION OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE GIRDERLESS SLAB FLOORS
ph.d in tech. sc. R.A.Rzayev, V.A.Ohotnikov, J.A.Aliyev, V.M. Aliyev, E.V.Sohbatov, N.V.Yusifli
Azerbaijan Scientific-Research Institute of Construction and Architecture

Xülasə: Elmi məqalə monolit dəmir-beton tirsiz örtüklərin nəzəri və praktiki tədqiqinə həsr olunmuşdur. Tirsiz örtüklərin sütun başlıqlarında kapitellərin verilməməsi yol verilməzdir. Tirsiz örtüklər zolaq və tam yükləmə sxeminə əsasən hesablanmalıdır. Tirsiz örtüklərin armaturlanmasında sütun üstü və aşırım sahələrinin armaturlanmasına diqqət verilməli onlar arasındakı nisbətlər qorunmalıdır.

Zədələnmiş tirsiz monolit dəmir-beton tavaların gücləndirilməsində karbon lifli polimer zolaqların istifadəsi ənənəvi üsullarla müqayisədə daha səmərəlidir.

Açar sözlər: dəmir beton, tirsiz, zolaq yükləmə, tam yükləmə, həddi-hal, möhkəmlik, deformasiya, karbon lifli.

Аннотация: Данная статья посвящена исследованию монолитных железобетонных безбалочных перекрытий. Безбалочные перекрытия с устройством капителей обязательно рассчитывают по методу предельного равновесия. Безбалочные перекрытия рассчитывают по схемам полосовой и сплошного нагружения. При армировании плиты должны соблюдаться отношения арматурной площадки надколенных и пролетных сечений. При усилении поврежденных плит использование углеродоволокнистых полимерных пластин по сравнению с традиционными методами, является более эффективным.

Ключевые слова: железобетон, безбалочное полосовое нагружение, сплошное нагружение, предельное равновесие, прочность, деформативность, углеродное волокнистая.

Summary: This article is devoted to the study of monolithic reinforced concrete girderless slab floors. In the headlines slab floors with the device of caps necessarily calculated by the method of limiting equilibrium. Girderless slab floors are calculated by the schemes of strip and continuous loading. When reinforcing the plate, the relations of the reinforcing pad of the nodal and span sections must be observed. When reinforcing damaged plates, the use of carbon-fiber polymer plates in comparison with traditional methods is more effective.

Key words: reinforced concrete, headlines, strip loading, continuous loading, limiting equilibrium, strength, deformability, carbon fiber.

Respublikamızda son illərdə monolit dəmir-beton binaların tikintisində tirsiz örtüklər tətbiq olunur. Məlumdur ki, ənənəvi tirsiz örtüklər sütunlara oturan müstəvi tavalardan ibarətdir. Sütunlarla tavanın birləşmə düyünlərində sütun başlıqlarında kapitellər verilir. Sütun başlıqlarında kapitellərin verilməsində məqsəd monolit dəmir-beton tava ilə sütunun qovuşma yerində tələb olunan sərtliyin, kapitelin perimetri boyu tavanın basılıb kəsilmədə möhkəmliyini, tavanın hesabı uzunluğunun azaldılmasını və eninə istiqamətdə momentin nisbətən bərabər paylanmasını təmin etməkdir [1].

Tirsiz örtüklər kvadrat və ya düzbucaqlı sütun şəbəkəsi ilə layihələndirilir. Tavada böyük aşırımın kiçik aşırıma nisbəti $l_2/l_1 \leq 1,5$ nisbəti kimi məhdudlaşdırılır. Aparılmış tədqiqatlar göstərmişdir ki, sütun şəbəkə düzülüşü 6×6m olduqda tirsiz örtüklərin texniki-iqtisadi cəhətdən səmərəli konstruksiyası alınır.

Tirsiz örtüklər XX əsrin 80-cı illərində əsasən sənaye-istehsalat binalarında məhdud həcmdə tətbiq olunmuşdur. İstehsalat binalarında tirsiz örtüklərin sütunlara oturma sahəsində

istifadə olunan kapitellərin yüklərin qiymətindən asılı olaraq bir neçə növü tətbiq olunur. Bütün hallarda kapitellərin ölçüsü tavanın aşağı səthi üzrə beton dayaq təzyiqinin 45° yayılması şərtinə əsasən qəbul olunur. Bu ölçü bir qayda olaraq $c = 0,2 \dots 0,3\ell$ ətrafında qəbul olunur (ℓ - tavanın aşırımıdır).

Kapitellərin ölçüsü və forması onun perimetri boyu basılıb yarılmə şərtindən təyin olunur. Bunun üçün sütun oxundan uyğun olaraq istənilən x və y məsafəsində basılıb yarılməyə möhkəmlik şərti ödənilməlidir (şəkil 1):

$$Q \leq R_{bt} b h_0 \quad (1)$$

$$Q = q[\ell_1 \ell_2 - 4(x+h_0)(y+h_0)] \quad (2)$$

$$b = 4(x+y+h_0) \quad (3)$$

Kvadrat kəsikli kapitellərdə $x=y$ qəbul edilir.

Burada, Q -topa qüvvədir;

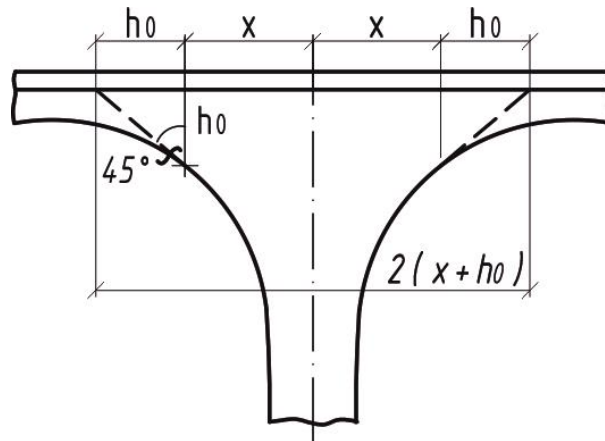
R_{bt} - betonun ox boyu hesabi dartılma müqavimətidir;

h_0 - işçi hündürlükdür;

q - $1m^2$ örtüyə düşən ümumi yük;

ℓ_1, ℓ_2 -tavanın aşırımıdır;

x, y - sütunun mərkəzindən möhkəmlik şərti yoxlanılan kəsiyə qədər məsafələrdir.



Şəkil 1. Kapitellərin ölçülərinin təyini sxemi

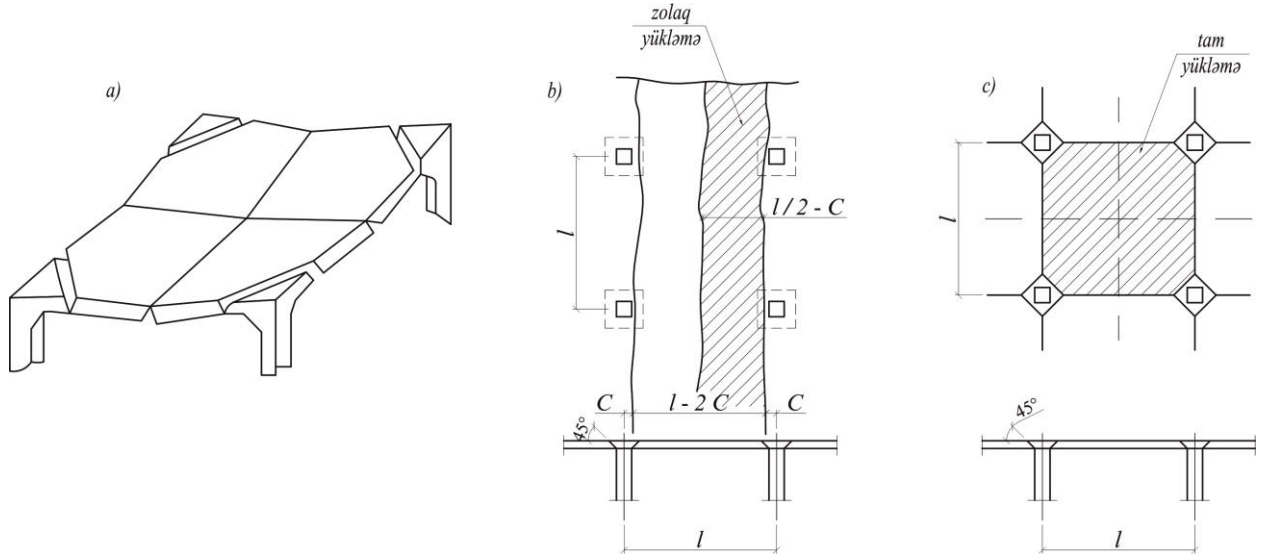
Tirsiz örtüklər həddi-hal (tarazlıq) vəziyyətinə görə hesablanırlar (şəkil 1). Tədqiqatlarla müəyyən olunmuşdur ki, tirsiz örtüklər üçün hesabi təhlükəli yükləmə sxemi zolaq və tam yükləmə hesab edilir. Zolaq yükləmə bir aşırımdan bir, tam yükləmə isə bütün sahəyə aid edilir. Hər iki yükləmədə xətti plastik oynaqların yaranmasının iki yerləşmə sxemi mümkündür (şəkil 2a).

Həddi-hal vəziyyətində zolaq yükləmədə qırılma yerlərində hissələri birləşdirən üç xətti plastiki oynaqlar yaranır (şəkil 2b). Aşırımda plastiki oynaq yüklənmiş tavaların oxu boyu yaranır və çatlar açılır.

Dayaqlarda plastiki oynaq sütunlardan c məsafədə kapitelin formasından və ölçüsündən asılı olaraq yaranır və çatlar yuxarıya doğru açılır. Kənar örtüklərdə onların divara sərbəst oturduğu halda iki plastiki oynaq yaranır: biri aşırımda; digəri isə birinci sütun sırasının dayaq hissəsinə yaxın sahədə.

Tirsiz örtüklərin tam yüklənməsində orta tavalarda sütun sıralarına perpendikulyar və paralel istiqamətlərdə plastiki oynaqlarda aşağıya doğru çatlar yaranır.

Bu halda hər panel plastiki oynaqlarla 4 hissəyə ayrılır. Bölünmüş hissələr kapitel sahəsində sütun sırasına 45° yönəlmiş ox boyu xətti dayaq plastiki oynaq nəzərən fırlanırlar (şəkil 2 a,c).



Şəkil 2. Tirsiz tavaların həddi-hal üsulu ilə hesablanması sxemi

a) xətti plastik oynaqların ümumi yerləşmə sxemi;

b) zolaq yükləmədə xətti plastik oynaqların yerləşmə sxemi;

c) tam yükləmədə tavanın aşağı tərəfindən çatın acılması ilə yaranan xətti oynaqlar sxemi.

Orta tavalarda dayaq üstü plastiki oynaqlarda çatlar yalnız yuxarıya doğru açılır. Sütun cərgə xətlərinin üzərində isə tava bütün qalınlığı üzrə kəsilir. Kənar tavalarda xətti plastiki oynaqların yaranma sxemi dayaq konstruksiyasından (divarlara oynaqlı birləşmə, sütunlarda yarım kapitellərin və ya tirlərin verilməsi) asılı olur.

Zolaq yükləmədə tava üç xətt üzrə iki hissəyə ayrılır. Tavanın en kəsiyinin plastiki oynaqlarında qəbul etdiyi dayaq $M_{sup} = R_s A_{s, sup} Z_{sup}$ və aşırım $M_\ell = R_s A_{s, \ell} Z_\ell$ momentlərinin cəminin ℓ_1 aşırımlı, ℓ_2 enində tirin momentinə bərabər qəbul edilməsi şərtindən hesablanır:

$$\frac{q\ell_2(\ell_1 - 2c_1)^2}{8} \leq R_s (A_{s, sup} z_{sup} + A_{s, \ell} Z_\ell). \quad (4)$$

Tavanın digər istiqamətində

$$\frac{q\ell_1(\ell_2 - 2c_2)^2}{8} \leq R_s (A_{s, sup} z_{sup} + A_{s, \ell} Z_\ell). \quad (5)$$

burada,

q – $1m^2$ örtüyə düşən ümumi yük;

c_1, c_2 – uyğun olaraq ℓ_1 və ℓ_2 istiqamətlərində dayaq plastik oynaqlarından ən yaxın sütun cərgəsinə qədər olan məsafədir:

R_s – armaturun dartılmada hesabi müqavimətidir;

$A_{s, sup}$ – dayaq plastiki oynaqda armatur sahəsidir;

$A_{s, \ell}$ – aşırım plastiki oynaqda armatur sahəsidir;

Z_{sup} – dayaq oynağında daxili cüt qüvvənin qoludur;

Z_ℓ – aşırım oynağında daxili cüt qüvvənin qoludur.

$\Theta_{sup} = A_{s, sup} / A_{s1}$; $\Theta_\ell = A_\ell / A_{s1}$ (burada, $A_{s1} = A_{s, sup} + A_{s, \ell}$ armatur sahələrinin cəmidir), dayaq və aşırım kəsiklərində armatur sahələrinin nisbətini xarakterizə edən əmsalları düstur (4)-də nəzərə alsaq aşağıdakı düsturu alırıq:

$$\frac{q\ell_1(\ell_1 - 2c_1)^2}{8} \leq R_s A_{s1} Z_\ell \left(\Theta_{sup} \frac{Z_{sup}}{Z_\ell} + \Theta_\ell \right). \quad (6)$$

Tam yükləmədə kvadrat panelli tirsiz örtüklərin möhkəmlik şərti aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\frac{q\ell^3}{8} \left[1 - 2\frac{c}{\ell} + \frac{4}{3}\left(\frac{c}{\ell}\right)^3 \right] \leq R_s A_{s1} Z_\ell \left(\Theta_{sup} \frac{Z_{sup}}{Z_\ell} + \Theta_\ell \right). \quad (7)$$

c – tavanın dördə birindən sınımış düzbucaqlı üçbucağın katetidir.

Hesablamalarda $\Theta_{sup}=0,5\div0,67$; $\Theta_\ell=0,5\div0,33$; c_1/ℓ_1 və c_2/ℓ_2 nisbətlerini isə $0,08\div0,012$ intervalında qəbul olunması tövsiyə olunur [1].

Bu gün respublikamızda tətbiq olunan tirsiz örtüklərdə bir çox hallarda kapitellər qoyulmur və ya onlar örtüyün müəyyən məhdud sahələrində kompleks proqramlarda aparılan binanın fəza hesablamalarının nəticələrinə əsaslanaraq tətbiq olunur. Kapitelsiz tirsiz örtüklərin yaşayış və ictimai binalarda tətbiqi bir qayda olaraq onlarda əyintilərin qiymətinin normalarla müəyyən edilmiş buraxıla bilən hədlərdən artıq olmasına və onlarda eni 0,4-0,5 mm-ə qədər olan çatların yaranmasına səbəb olur [2, 4].

Bir qayda olaraq tirsiz örtüklərdə yaranan əyintilər qəliblərin tez sökülməsi, armatur sahələrinin dayaq və aşırım sahələrində azlığı ilə əsaslandırılır.

Sütun sahəsi $4,5\times 7,5$ m olan çoxmərtəbəli hündür binanın tirsiz örtüklərində konstruksiyanın öz ağırlığından yaranmış əyintinin qiyməti 0,5 sm, açılmış çatların eni isə 0,6 mm hədlərində olmuşdur.

İstismarda olan binalarda aparılan mühəndisi tədqiqatlar dayaq hissələri $\text{Ø}25$, $\text{Ø}22$ A400 armatur milləri ilə gücləndirilmiş və ikiqat $\text{Ø}12$ A400 armatur milləri ilə armaturlanmış 8m aşırımlı 25sm qalınlıqlı tavalarda 5sm-ə qədər əyintilərin və eni 0,4-0,8 mm-ə qədər çatların yarandığını göstərmişdir [4] (şəkil 3, 4).



Şəkil 3.



Şəkil 4.

Tavalarda əyinti və çatların yaranmasının səbəbini araşdırmaq məqsədilə onların faktiki göstəriciləri nəzərə alınmaqla hesablar aparılmış, zolaq və tam yükləmədə yükqötürmə qabiliyyətləri və əyintiləri təyin edilmişdir:

zolaq yükləmədə	- $q_z=2191$ kq q/m^2 ;
tam yükləmədə	- $q_t=1890$ kq q/m^2 ;
zolaq yükləmədə əyinti	- $f=2.1$ sm ;
tam yükləmədə əyinti	- $f=2.4$ sm .

Hesablamaların nəticələri tirsiz 8m aşırımlı örtük tavalarının hər iki yükləmədə möhkəmlik və deformasiya şərtini ödəndiyini göstərmişdir.

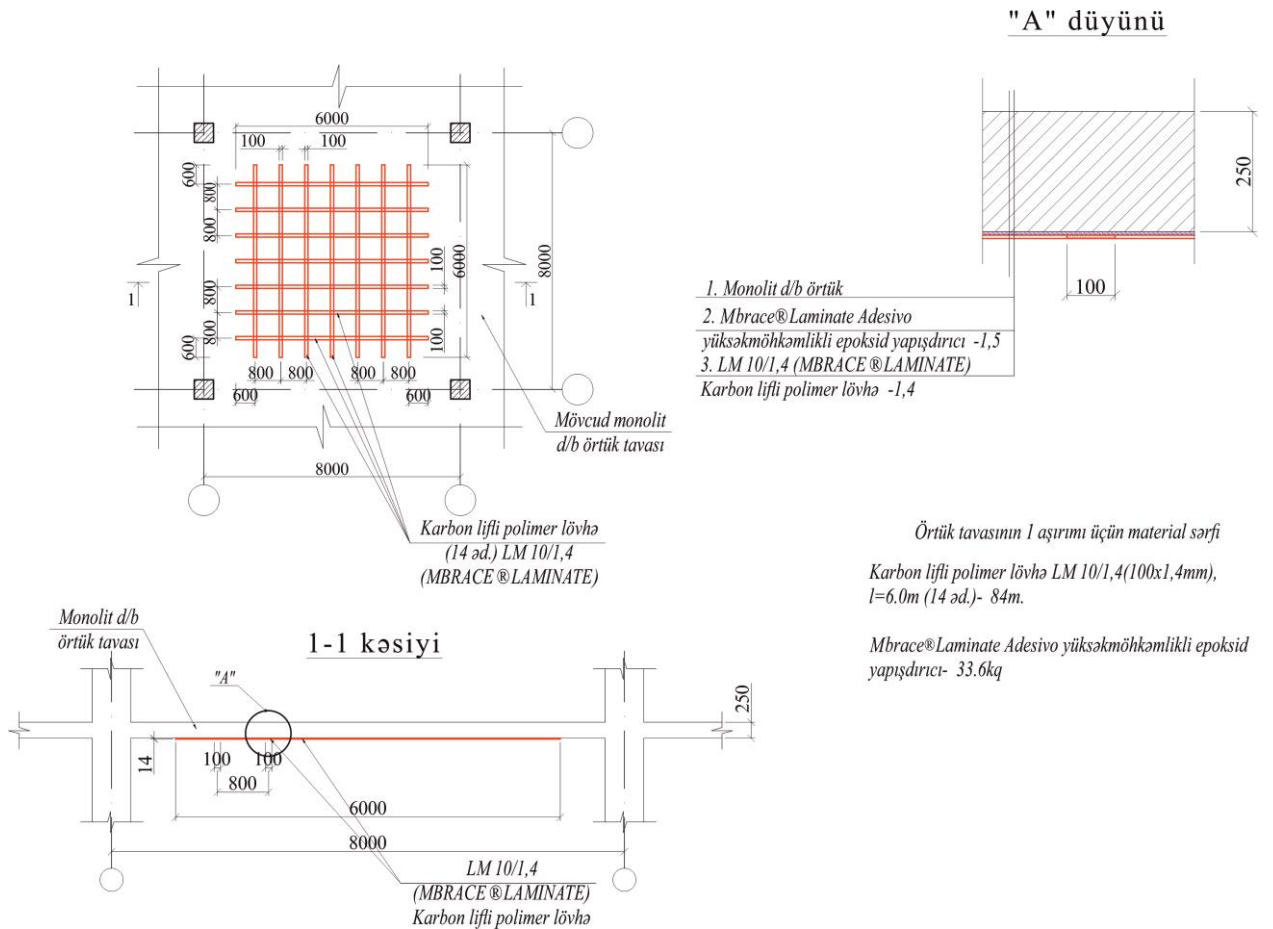
Böyük aşırımlı tavalarda əyinti və çatların yaranmasının əsas səbəbi tavaların öz çəkirlərinin həddən artıq ağır (ümumi yükün 50%-ni təşkil etməsi) olmasıdır [2].

Tavaların çəkisi, ümumilikdə binanın çəkisinin kəskin artmasına və binada zəlzələ zamanı seysmiki yüklərin qiymətinin çoxalmasına səbəb olur.

Texniki ədəbiyyatlarda və elmi mənbələrdə tavaların düzgün konstruktiv sxeminin seçilməsi binanın layihələndirilməsində həlledici amillərdən biri olduğu əsaslandırılmışdır [3].

Mövcud binaların tirsiz tavalarının gücləndirilməsində hal-hazırda polad armaturlardan, profillərdən geniş istifadə olunur. Tirsiz tavaların polad elementlərlə ənənəvi üsul ilə gücləndirilməsində yeni polad elementlər ilə tavanın mövcud birləşmə düyünləri mürəkkəb olub, polad gücləndirmə elementləri ilə tavanın birgə işi tələb olunan səviyyədə təmin olunmur.

Son illər dünyada müasir texnologiyalar əsasında karbon lifli polimer zolaqlı lövhələr (MBT-MBRACE laminate) istehsal olunur [5] (şəkil 5).



Şəkil 5. Monolit dəmir-beton tirsiz örtük tavanın gücləndirilməsinin texniki həlli

Bu materialın tətbiq sahələri aşağıdakılardır:

- Tirlərin və tavaların əyilmədə müqavimətinin artırılması;
- Tavaların böyük yüklərdə müqavimətinin təmin olunması;
- Döşəmələrdə açıq boşluqların doldurulması (kommunikasiya kanalları);
- Hərəkətli dəyişən yük təsirlərində tir və tavaların əyilmə müqavimətinin artırılması;
- Dəmir-beton elementlər üzərində quraşdırılmış avadanlıq və dəzgahların çalışmasından yaranan vibrasiyanın udulması.

Karbon lifli polimer zolaqlarla konstruksiyaların gücləndirilməsinin ənənəvi üsullarla gücləndirilmədən üstünlükləri aşağıdakılardır:

- Bu materialın tətbiqi daha sadə və operativdir;
- Çəkisinin az olması ilə əlaqədar konstruksiyada əlavə qüvvənin yaranmasına səbəb olmur;
- Gücləndirmə işləri istehsal prosesi dayandırılmadan yerinə yetirilir;
- Dartılmada böyük hesabı müqavimətə malik olması (2600-3800).

Karbon lifli polimer zolaqlarla mövcud binanın tirsiz örtüyünün gücləndirmə layihəsinin nümunəsi və işin yerinə yetirilməsi şəkil 6 və 7-də verilmişdir.



Şəkil 6.



Şəkil 7.

NƏTİCƏLƏR:

Monolit dəmir-beton tirsiz örtüklərin tətbiqi zamanı aşağıdakılar nəzərə alınmalıdır:

- tirsiz örtüklərdə sütun başlıqlarında kapitel verilməsi vacibdir;
- kapitelsiz tirsiz örtüklərin 6 m-dən böyük aşırımlarda tətbiqi yol verilməzdir;
- tirsiz örtüklər zolaq və tam yükləmə sxemləri üzrə həddi-hal tarazlıq vəziyyətinə hesablanmalı və alınmış nəticələrə əsasən layihələndirilməlidir;
- monolit dəmir-beton binalarda tirsiz örtüklər düzbucaqlı və ya kvadrat sütun şəbəkəsi ilə layihələndirilməlidir;
- düzbucaqlı sütun şəbəkəsində böyük aşırımın (ℓ_2) kiçik aşırıma (ℓ_1) nisbəti, yəni, $\ell_2 / \ell_1 \leq 1,5$ qəbul olunmalıdır. Tavanın hündürlüyü $h = \frac{1}{32} \div \frac{1}{35} \ell_2$ nisbətində təyin olunur;
- tavaların armaturlanmasında dayaq armatur sahəsinin ümumi armatur sahəsinə nisbəti $\theta_{\text{sup}}=0,5-0,7$, aşırım armatur sahəsinin ümumi armatur sahəsinə nisbəti $\theta_\ell = 0,5 \div 0,4$; c_1 / ℓ_1 və c_2 / ℓ_2 nisbətlərinin qiymətlərinin 0,08-0,012 intervalında qəbul olunması tövsiyə olunur;
- böyük aşırımlı tirsiz tavaların tətbiqində tavaya $\ell / 200$ nisbətində əks əyintinin verilməsi tövsiyə olunur;
- seysmik rayonlarda tikilən binalarda tirsiz örtüklərin yüngülləşdirilmiş konstruksiyalarından istifadə edilməsi məqsədəuyğundur;
- kompleks proqramlarla hesablanmış binaların konstruktiv sistemində hesabatın nəticəsindən asılı olmayaraq bütün sütun başlıqlarında kapitellər verilməlidir;
- zədələnmiş tirsiz monolit dəmir-beton tavaların gücləndirilməsində karbon lifli polimer zolaqların istifadəsi ənənəvi üsullarla müqayisədə texniki və iqtisadi cəhətdən daha səmərəlidir.

İstifadə olunmuş ədəbiyyat

1. Байков В.Н., Сигалов. Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. Стройиздат, Москва, 1991.
2. Rzayev R.A., Əliyev C.A., Oхotnikov V.A., Əliyev V.M., Yusifli N.V. “Tikişsiz monolit dəmir-beton tavalarının texniki vəziyyəti haqqında rəy”. Bakı, 2014.
3. Козак М. Конструкций высотных зданий. Стройиздат, Москва, 1986.
4. İsmaylov Ş.Y., Hüseynov R.M., Qarayev A.N., Rzayev R.A. “Bakı ət kombinatının mühəndisi müayinəsi” elmi-texniki hesabat. Bakı, 1989.
5. Ремонтно-строительные системы. Каталог продукции BASF.

УДК 627.131

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСАДКИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

к.т.н. Габиров Ф.Г. Азербайджанский НИИ Строительства и Архитектуры

STUDY OF SHRINKAGE PROCESS OF CLAY SOILS

ph.d in tech. sc. Gabibov F.G. Azerbaijan Scientific-Research Institute of Construction and Architecture

GİLLİ QRUNTLARIN ÇÖKMƏ PROSESLƏRİNİN TƏDQIQI

tex. üzrə f.d. Həbibov F.H. Azərbaycan İnşaat və Memarlıq ETİ

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию процесса усадки глинистых грунтов при их высыхании. Выявлено, что усадка глин является сложным процессом, протекающим под действием капиллярных и молекулярно – электростатических сил.

Величина усадки глинистых грунтов зависит от многих факторов, среди которых определяющую роль играют минеральный состав глин, формы частиц глинистых минералов, структура и текстура глин.

В процессе усадки хаотичная ориентация частиц становится более упорядоченной. В конечном итоге на пределе усадки глины с пластинчатыми частицами стремятся перейти в анизотропное состояние, с ориентацией частиц базальной поверхностью перпендикулярно вертикальной оси.

На основе исследования по модели коагуляционной структуры двухфазного глинистого грунта Кульчицкого – Усырова по формуле, в которой капиллярное давление прямо пропорционального поверхностному натяжению воды и обратно пропорционально радиусу макропоры глины. Теоретическое описание напряженно-деформированного состояния глинистого грунта проведено на основе решения уравнения диффузии влаги из грунта при его высыхании.

При исследовании усадочного трещинообразования в глинах использовано методика, основанная на синергетике - науке, занимающейся изучением процессов самоорганизации, устойчивости и распада систем различной природы.

Ключевые слова: глина, грунт, усадка, процесс, теория, гипотеза, минерал, структура, текстура, предел, экспериментальный, каолинит, гидрослюда, монтмориллонит, напряжение, деформация, методика.

Xülasə: Məqalə quruma (buxarlanma) zamanı gilli qruntların çökmə proseslərinin tədqiqinə həsr olunub. Müəyyən olunmuşdur ki, gillərin quruma zamanı çökməsi kapilyar və molekulyar-elektrostatik güclərin təsiri altında keçən çox mürəkkəb prosesdir.

Gilli qruntların quruma zamanı çökmə ölçüləri bir çox amillərdən asılıdır. Burada əsas amillər gilnin tərkibi, gilli mineralların hissəciklərinin formaları, gilnin strukturu və teksturasıdır. Quruma zamanı çökmə proseslərində hissəciklərin xaos oriyentasiyası daha da nizamlanır. Quruma zamanı çökmə proseslərinin son mərhələsində lövhə şəkilli hissəcikli qruntların oriyentasiyalı bazal səthli hissəcikləri şaquli oxla perpendikulyar anizotron vəziyyətə keçməyə meyillidirlər.

Kulçiski-Uşyarovun tədqiqatlarına əsasən ikifazlı gilli qruntların koaqulyasiya struktur modelindəki düstura görə kapilyar təzyiqli suyun səthi gərilməsinə birbaşa proporsional və gilnin makropor radiusuna əks proporsionaldır.

Nəzəriyyələrdə gilli qruntların gərginlik deformasiya halı quruma zamanı qrunzun nəmlik diffuziya tənziminin həlli əsasında tətbiq edilmişdir.

Tədqiqatlar zamanı gillərdə çat yaradan quruma zamanı çökmələrin müxtəlif hallarda proseslərin özünü təşkilə, dayanıqlığı və sistemin dağılması proseslərini öyrənən sinergetikaya əsaslanan metodikadan istifadə olunmuşdur.

Açar sözlər: gil, qrun, çökmə, proses, nəzəriyyə, fərziyyə, mineral, quruluş, tekstur, hədd, eksperimental, каолинит, illit, монтмориллонит, гərginlik, deformasiya, metodika.

Summary: In this article they study shrinkage process of clay soils while drying. Clay shrinkage was revealed to be a complex process influenced by capillary and molecular- electrical forces.

The value of shrinkage of clay soils depends on numerous factors among which mineral content of clay, shape of clay fractions, structure and texture of clay play the most important role.

During shrinkage chaotic orientation of fraction becomes more arranged. In the end, at the final moments of shrinkage of clay having plate fractures those try to transform into anisotropic state, when fractions of basal surface oriented perpendicularly to the vertical axis.

According to the tests based on Kulchitski-Usyarov's model of coagulation structure of two-phased clay soil using the formula in which capillary pressure is in direct ratio to surface tension and inversely to the radius of a macropore of clay.

Theoretical description of stressed- deformed state of clay soil was conducted basing on the equation of liquid diffusion from the ground when drying.

While researching shrinkage crack formations in clay they used the method based on synergy- science studying self organization processes, stableness and collapse of systems of different nature.

Key words: clay, soil, shrinkage, process, theory, hypothesis, mineral, structure, texture, limit, experimental, kaolinite, illit, montmorillonit, stress, deformation, method.

1. Анализ исследований по природе и закономерностям усадки глин

Усадка глинистых грунтов, как и их сжатие, является процессом обратным набуханию, но она связана с термоосмопереносом влаги из пор грунта во внешнюю среду. Усадка является сложным физико-механическим и физико-химическим процессом, при котором происходит не только механическое уплотнение, но и перераспределение растворимых компонентов грунта, изменение структурных связей между частицами.

Теория, объясняющая явление усадки дисперсных систем впервые дана Р.Зигмонди [1] в применении к гелям. Впоследствии эта теория К.Терецаги [2] была применена к грунтам. Теория Р.Зигмонди основывается на законах капиллярности в связи с чем и получила название «капиллярной».

А.Сридаран и V.Рао [3] считают, что в связи с действием сил притяжения и отталкивания между частицами глины при усадке эффективное напряжение на контакте частиц, определяющее их сопротивление смещению, можно представить в виде уравнения

$$P_y = P - xU_w \pm (R - A), \quad (1)$$

где P_y - давление на контакте между частицами; $P - xU_w = P'$ - эффективное давление, действующее в структурной системе скелета; R и A – соответственно силы отталкивания и притяжения между частицами.

А.А.Шмелев [4] выдвинул водно-коллоидную гипотезу усадки глин. Он считал набухание и усадку обратными явлениями, противоположными друг другу и в то же время неразрывными, т.е. он их объединял в одном процессе. Сторонники водно-коллоидной гипотезы М.М.Филатов [5], В.С.Шаров [6], Б.Ф.Рельтов [7] и другие считают, что взаимодействие глинистых частиц с водой является гидратационным процессом. В основе этой гипотезы лежат представления о поверхностных явлениях в глинах, происходящих на границе раздела двух фаз - твердой и жидкой.

А.В.Роде [8], Е.М.Сергеев [9], В.А.Приклонский [10], Ф.Д.Овчаренко [11], Р.Е. Грим [12], А.Л. Вереземская и М.Ф. Казанский [13] и др. также придерживаются водно – коллоидной гипотезы усадки глин. Они считают, что усадка глин является сложным процессом, протекающим под действием капиллярных и молекулярно – электростатических сил.

Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев и В.М. Муллер [14] отмечают, что на контакте двух частиц, разделенных узким зазором, может возникать специфическое явление, приводящее к уменьшению сил электростатического отталкивания, а при некоторых условиях и к изменению их знака, т.е. смене отталкивания на силы притяжения. Это явление, как отмечают В.И. Осипов и В.Н. Соколов [15], обычно проявляется при усадке глин. В этом случае глинистые системы приобретают прочность, намного превышающую ее значение, определяемое молекулярными силами. Это дает основание полагать, что в ходе усадки в глинах формируются дополнительные связи, повышающие их структурное сцепление. При сближении частиц при усадке глин, исходя из теории двойного электрического слоя, между частицами появляются дополнительные силы ионно – электростатического притяжения, которые вместе с молекулярными силами значительно увеличивают энергию взаимодействия частиц.

А.Е.Афанасьев и Н.В.Чураев [16] считают, что вызванная усадкой сближение частиц грунта связана с отрицательным значением расклинивающего давления тонких водных слоев.

R.Jong и B.Warkentin [17], исследуя усадку природного водонасыщенного глинистого грунта, выделили четыре стадии усадки: 1) структурная усадка; 2) нормальная усадка; 3) остаточная усадка; 4) отсутствие усадки.

Согласно исследованиям В.В.Охотина [18], грунты с содержанием глинистых частиц до 10% обладают незначительной усадкой, при увеличении содержания глинистых частиц до 50-55% усадка стремительно увеличивается, а при последующем увеличении глинистых частиц она изменяется незначительно.

Прослеживается определенная зависимость усадки от формы глинистых минералов. Как отмечает Н.И.Круглицкий [19], усадка у игольчатых частиц галлуазита и палыгорскита выше, чем у пластинчатых частиц каолинита и гидрослюды. Это объясняется более рыхлой упаковкой частиц игольчатой формы в образце.

Н.Я.Денисов [20] и С.С.Морозов [21] указывают на то, что усадка грунтов в структурно нарушенном состоянии в несколько раз выше усадки образцов с природными связями при одинаковой начальной влажности.

W.Williamson [22], Т.Р.Лемб [23], Ж.Е.Рогаткина [24] и др. отмечают влияние текстурных особенностей глинистых грунтов на величину усадки, т.е. величины усадки при упорядоченной текстуре больше, чем у грунтов с хаотической структурой.

Согласно исследованиям Р.И.Дмитриевой [25] установлено, что в результате усадки происходит некоторое изменение ориентации частиц, и текстура становится более упорядоченной.

2. Исследование кинетики усадки глинистых грунтов

Объемную усадку глин различного мономинерального состава измеряли по разработанной автором методике и конструкции прибора. Методика, по которой определялась объемная усадка глинистого грунта заключается в том, что образец грунта изготавливают коническим, с углом при вершине $45-75^{\circ}$, а сушку его осуществляют в емкости, геометрически подобной образцу с проницаемыми стенками, причем образец размещают в емкости вершиной вниз, а величину уменьшения объема грунта при усадке определяют по изменению высоты конуса образца.

По полученным в процессе высыхания глин значениям усадки δ_y , вплоть до ее завершения построены графики кинетики усадки $\delta_y(T)$, где T – время сушки. Момент завершения усадки глин довольно четко проявляется на графиках по изгибу и выходу их на постоянную горизонталь. Как видно из графиков (см. рис. 1) усадка каолинитовой глины (при постоянной комнатной температуре 20°C) длится одну неделю, усадка гидрослюдистых глин длится около двух недель, а усадка монтмориллонитовой глины длится 3 недели.

Если построить график зависимости длительности усадки глин от их удельной поверхности, то он будет носить параболический характер (см. рис.2).

Эксперименты показали, что используемая методика определения усадки глинистых грунтов позволяет исключить трещинообразование в образцах грунта. Скорость усадки, определяемая углом наклона прямолинейных участков (рис. 1) графиков, наименьшая у каолинитовой глины, для гидрослюдистых и монтмориллонитовой глины она примерно одинакова.

Каолинитовая глина обладает очень малой усадкой (таблица 1). Ее влажность на пределе усадки превышает влажность максимальной гигроскопичности почти в 10 раз. Усадка же монтмориллонитовой глины происходит вплоть до влажности максимальной гигроскопичности. Гидрослюдистые глины занимают промежуточное положение. Отмеченные особенности свидетельствуют о том, что внутреннее трение между частицами каолинитовой и гидрослюдистых глин выше, чем у монтмориллонитовой глины, что способствует большему

сопротивлению минеральных частиц этих глин затягиванию их активных пор под воздействием сжимающих капиллярных сил.

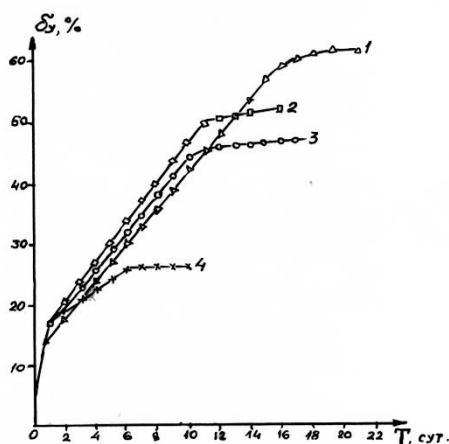


Рис. 1. График зависимости объемной усадки исследованных глин от длительности их высыхания: 1 - монтмориллонитовая глина «аскангель»; 2 - кудиновская гидрослюдистая глина, фракции менее 5 мкм; 3 - хвалынская гидрослюдистая глина с незначительной примесью каолинита и следами монтмориллонита; 4 - каолининовая глина.

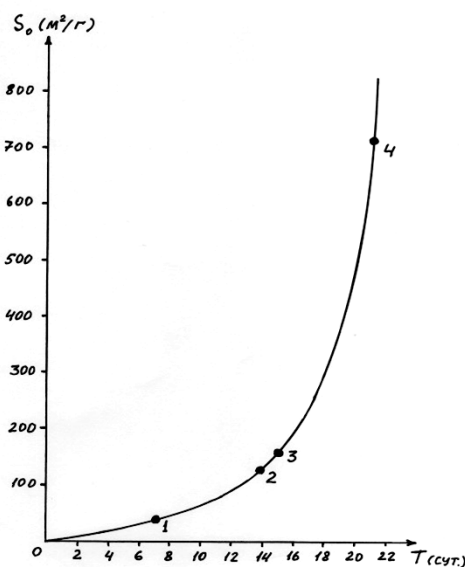


Рис. 2. График зависимости длительности усадки глин от их удельной поверхности:
1 – каолининовая глина; 2 – хвалынская гидрослюдистая глина;
3 – кудиновская гидрослюдистая глина; 4 - монтмориллонитовая глина «аскангель».

Были проведены экспериментальные исследования кинетики усадки Виляшчайских глин (юго-восточная часть Азербайджанской Республики), отобранных из участка трассы канала по сбросу катастрофических паводков Виляшчайского водохранилища. Монолит грунта лишился изоляции и высушивался в лабораторном помещении при температуре 20°C . Из этого монолита было отобрано четыре образца ненарушенной структуры, которые замачивались дистиллированной водой и определяли величину их объемного набухания δ_H . Эксперименты проводились на специально сконструированном приборе, в котором на специальной центральной игле поддона фиксировался цилиндрический образец без кольца. Объемное набухание и усадка определялись по показаниям изменения высоты, определяемой

индикатором часового типа, и по изменению радиуса образца, определяемого тремя индикатором часового типа, установленными в горизонтальной плоскости через 120° по окружности сечения образца грунта. В таблице 2 приведены сравнительные данные по набуханию и усадке образцов Виляшчайских глинистых грунтов.

Таблица 1.

Вид глинистого грунта	Исходная влажность W , %	Исходная плотность ρ , г/см ³	Влажность нормальной усадки W_y , %	Плотность (объемная масса) на пределе нормальной усадки $\rho_{n,y}$, г/см ³	Влажность максимальной гигроскопичности W_{Mg} , %	Усадка δ_y , %
Каолинит (Просьяновское месторождение)	48,2	1,74	26,0	2,03	2,5	26,0
Кудиновская гидрослюдистая глина, фракции менее 5 мкм	59,0	1,656	10,5	2,27	8,3	50,5
Хвалынская гидрослюдистая глина с незначительной примесью каолинита и следами монтмориллонита	48,2	1,74	10,7	2,30	8,5	44,1
Монтмориллонитовая глина «аскангель» (Грузия)	96,8	1,47	17,8	1,94	28,0	59,0

Таблица 2

№№	Свободное набухание образца δ_H , %	Свободная усадка образца после набухания δ_y , %
1	25,3	20,8
2	21,5	21,4
3	20,1	21,8
4	20,7	15,3

Как видно из таблицы 2 в двух образцах величины деформаций набухания и усадки практически совпадают, в других образцах объемной усадки заметно меньше величины объемного набухания. Как показали визуальные исследования образцов, на них проявились заметные усадочные трещины, которые и отразились на показаниях приборов. Стабилизация деформаций усадки, в отличие от деформаций набухания происходит в более длительное время, т.е. за 10-12 суток.

3. Исследования усадочных напряжений в глинистых грунтах

Напряжения возникающие в глинистых грунтах при усадке сравнительно мало изучены. Е.Фрейсинэ [26] П.А.Ребиндер [27] М.С.Остриков, О.Т.Свирская и Т.П.Духнина [28] и другие считают, что напряжения при усадке в капиллярно-пористых системах возникнут под давлением капиллярных сил. Эти силы являются внешними по отношению к скелету грунта, при этом жидкая фаза во всем объеме испытывает растягивающее напряжение, которое считается главной причиной усадочных деформаций. В твердой фазе напряжения развиваются весьма сложно, в наружных слоях возникают растягивающие напряжения, а во внутренних сжимающие.

Согласно В.В. Охотину [29] величина внешней нагрузки P_s , вызывающей определенное сжатие грунта, принимается пропорциональной P_k - силе, производящей вследствие сближения частиц такое же уменьшение объема при усадке.

Последняя вычисляется по формуле

$$P_k = \frac{P_s(1 + 3\tau)}{3} \quad (2)$$

где τ - коэффициент бокового давления, равный отношению приращения горизонтального давления dQ и приращению вертикального давления dP , т.е.

$$\tau = \frac{dQ}{dP}, \quad (3)$$

для глины $\tau = 0,7 - 0,75$. Сила P_k часто называется капиллярным давлением, т.к. по капиллярной гипотезе усадка грунта производится только силами капиллярного натяжения.

Чураев Н.В. [30], который исследуя усадку периодической коллоидной структуры, рассматривает модель пористого тела, состоящую из правильной упаковки одинаковых сферических частиц радиуса r , образующих кубическую решетку. В каждой единице объема содержится n частиц. Расстояние между решетками обозначена через $2a$. Сила парного взаимодействия частиц определяется уравнением Дерягина

$$f(H) = \pi r G(h), \quad (4)$$

где H – кратчайшее расстояние между поверхностями частиц.

В работе [30] энергия взаимодействия $G(h)$ плоских поверхностей рассматривается с учетом сил электростатического отталкивания и дисперсного притяжения. При этом для перехода от изотермы расклинивающего давления $\Pi(h)$ к $G(h)$ использовано условие равенство изменения удельной свободной энергии двух плоских частиц работе их сближения из бесконечности до данной толщины водной прослойки h :

$$G(h) = \int_h^{\infty} \Pi(h) dh. \quad (5)$$

В пористых телах давлением, сохраняющим целостность ограниченной системы отталкивающихся частиц, является капиллярное давление P_k . Оно образуется при условии хорошего смачивания вогнутыми менисками на наружной поверхности. Можно получить простую связь между объемом системы и ее капиллярным давлением, считая, что процесс структурной перестройки протекает квазиравновесно, т.е. в каждый момент времени выполняется условие

$$P = f / a^2 \sqrt{3} = P_k, \quad (6)$$

где f – сила взаимодействия между сферическими частицами в водном растворе.

Последнее возможно при невысокой скорости удаления влаги, когда частицы успевают сместиться в положение, отвечающее уменьшающемуся шагу a при сохранении взаимной ориентации частиц, заданной той же кубической решеткой. Скорость смещения частиц контролируется вязким сопротивлением прослоек дисперсной среды. При данной величине параметра решетки a максимальное капиллярное давление приближенно равно

$$P_m = 2\sigma / a. \quad (7)$$

При условии $P > P_m$ начинается обезвоживание поверхностного слоя, сопровождающееся отступанием менисков в глубь пористого тела. Это произойдет, если скорость удаления массы вследствие испарения превышает скорость поступления

жидкости вследствие сжатия образца и выдавливания жидкости из пространства между частицами.

Приведенные в [30] исследования изменения $G(h)$ для случая плоских прослоек между силикатными пластинчатыми частицами, показывают, что учет структурных сил, особенно заметно проявляющихся в случае гидрофильных частиц, приводит к росту потенциального и соответственно силового барьера. В гидрофильных пористых телах это приводит к тому, что даже при резком росте капиллярного давления силовой барьер может не преодолеваться, и между сблизившимися частицами сохранится тонкая невытесненная прослойка.

Первые экспериментальные исследования по определению усадочных напряжений дисперсных систем были проведены М.С. Остриковым и др. [28, 31, 32]. Ими был сконструирован прибор, названный «контрактомером», при помощи которого можно определять напряжения, возникающие при усадке в течение всего периода сушки, при недопущении усадки в направлении действия изучаемых сил.

В динамометрическом контрактомере системы М.С. Острикова автоматически передвигающиеся по рычагу груз не позволяет образцу сокращаться и компенсирует возникающие в нем при высыхании усадочные напряжения, величина которых вычисляется по формуле:

$$F_{\sigma} = F \cdot \ell \cdot \rho_s / P, \quad (8)$$

где F_{σ} – усадочное напряжение; F – масса образца; ℓ – длина образца; P – масса абсолютно сухого образца; ρ_s – плотность частиц грунта.

В исследованиях усадочных напряжений, проведенных Л.В. Передельским и В.П.Ананьевым [32] контрактометрическим методом на глинах различного минерального состава выявлено следующее. Кривые зависимости усадочных напряжений от времени сушки для всех исследуемых образцов имеют S-образный характер с чётко выраженным латентным периодом. Наибольшие усадочные напряжения развиваются в монтмориллонитовой глине (17,64 МПа), промежуточное положение занимает гидрослюдистая глина (4,6 МПа), а каолинит развивает значительно меньшие усадочные натяжения (2,45 МПа).

К.Ш. Шадунц и П.А. Ляшенко [34] при помощи тензодатчиков успели измерить напряжения в бентонитовой глине, которое равнялось 1,75 МПа. Они высказали мнение, что напряжения, возникающие в глинах при усадке, значительно превышают полученные при непосредственных замерах и достигают 10 МПа и более.

Р.И. Дмитрова [25] используя две методики: 1) при помощи месдоз МЦМ-2, конструкции НИИСК; 2) по сравнению равновесных коэффициентов пористости, исследовала развитие напряжений при усадке на глинах различного минерального состава и определила: у каолинитовой глины - 1,4 МПа, у монтмориллонитовой глины - 3 МПа. Она пришла к выводу, что напряжения усадки должны достигать 6 МПа и более.

Пользуясь экспериментальными исследованиями деформаций двухфазных глин при различных внешних воздействиях (сжатие, набухание и усадка) и пользуясь разработанной Л.И. Кульчицким и О.Г. Усырявым [35] моделью глины, отражающей кристаллохимическую специфику коагуляционной ее структуры на микроуровне на основе капиллярной теории проведем оценку напряжений, возникающих при усадке глин.

В общем случае давление, обусловленное кривизной поверхности любой формы, выражается уравнением Лапласа

$$P = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad (9)$$

где σ – поверхностное натяжение жидкости; r_1 и r_2 – главные радиусы кривизны для данного элемента поверхности.

Исходя из (9) выражение для капиллярных сил обычно получают при рассмотрении сжатия сферической капли жидкости с радиусом сферы r и поверхностным натяжением σ

$$P_k = \frac{2\sigma}{r}, \quad (10)$$

Если поверхность жидкости цилиндрическая (что обычно реализуется при заполнении плоскопараллельных щелей), то, согласно [36]

$$P_k = \frac{\sigma}{r}, \quad (11)$$

где r – радиус цилиндра.

Капиллярное давление P_k , возникающее в макропорах коагуляционных глинистых структур на пределе их нормальной усадки, оценивали по формуле аналогичной формуле (11):

$$P_k = \frac{\sigma}{r_m} \quad (12)$$

где σ – поверхностное натяжение воды, равное при $20^{\circ}\text{C} \sim 73$ дин/см; r_m – радиус макропор по принятой модели двухфазной глины;

$$r_m = 0,5d;$$

d – диаметр макропор (см. рис. 3).

Согласно схеме для объяснения геометрии изменения микро – и макропор в модели в процессе усадки двухфазной глины [37] $d = b - c$. Значения c определяли из зависимости $c/b(n_0)$, где n_0 – общая пористость глины, согласно рис. 4 для величин n_0 , соответствующих пределу нормальной усадки глин.

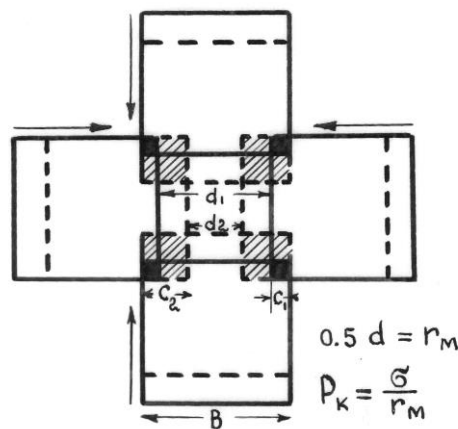


Рис. 3. Схема для объяснения геометрии изменения микро- и макропор в плоскости XOY модели в процессе уплотнения двухфазной глины.

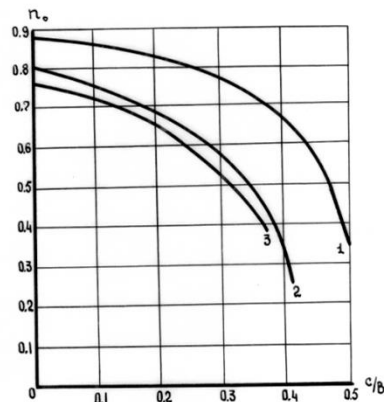


Рис. 4. Зависимость общей пористости мономинеральных глинистых паст от показателя перекрытия наружных базисов микроагрегатов:
1 – Са-монтмориллонит; 2 – Са-гидрослюда; 3 – Na- каолинит

На пределе нормальной усадки величины n_0 для Са- монтмориллонита, Са-гидрослюда и Na – каолинита составили, соответственно: 0,45; 0,25; 0,385. Проведенные расчеты показали, что при этом для Са - монтмориллонита $r_M = 15A^\circ$ и, соответственно, $P_k = 48,6 \text{ МПа}$; для Са – гидрослюда $r_M = 90A^\circ$; $P_k \approx 8 \text{ МПа}$; для Na – каолинита $r_M = 140A^\circ$, $P_k = 5,2 \text{ МПа}$.

Приведенные выше, а также на рис. 5, результаты исследования усадки двухфазных эталонных глин, полученные путем расчета по модели глины, практически совпадают с результатами полученными К. Терцаги [2].

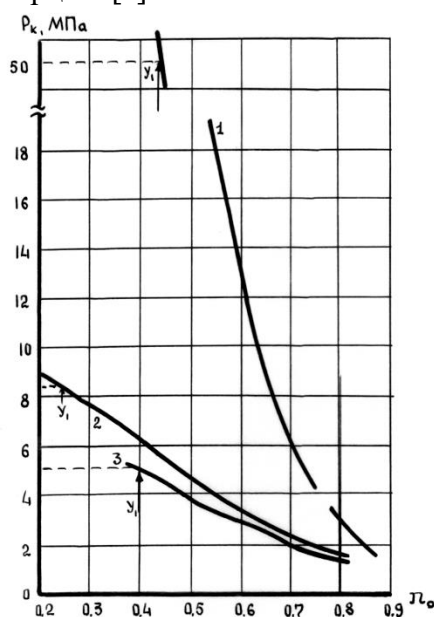


Рис. 5. Зависимость усадочного напряжения (капиллярного давления), возникающего в макропорах двухфазных глинистых грунтов в процессе их усадки при высушивании от величины их общей пористости: 1 - Са-монтмориллонит; 2 - Са -гидрослюда; 3 - Na-каолинит.

4. Исследование глинистых грунтов в режиме многоциклового набухания и усадки

Исследованиям циклической деформации и усадки посвящены работы В.И. Осипова и др. [38], В.М.Вовк и О.П. Богдевич [39], Н. Novamooz и F. Masroufi [40, 41], E.E. Alonso и др. [42], W.Y.Sun и D.A.Sun [43].

В работе [38] отмечается, что при циклическом испытании (набухание – усадка – набухание) величина набухания увеличивается и достигает предела на 4-6 циклах. В работах [40-43] исходя из грубой аналогии главным образом привязываются известные механические модели материалов и конструкций к циклическому процессу «набухание – усадка – набухание» различных глинистых смесей. Выводы авторов тривиальны и носят спорный характер.

Исследования автора на циклическую «увлажнение - сушку» засоленных глин, отобранных на опытном участке в Уджарах (Азербайджан) показали, что после первого цикла «набухание - усадка», при вторичном увлажнении образцы набухали значительно интенсивнее, т.е. набухание в 12-18 раз превышали первичное значение. Были проведены еще три цикла набухания и усадки на указанных образцах. Результаты испытаний на набухание были ниже результатов второго цикла, но выше первоначальных показаний. Надо отметить, что в некоторых образцах при последних трех циклах испытаний, вначале при увлажнении в образцах грунта наблюдалась просадка, что объясняется увеличением пористости и трещиноватости [44].

Были проведены пробные опыты на усадку – набухание эталонных глинистых паст различного минерального состава на конических приборах. После усадки при замочке образцов последние увеличивали свой объем в основном только в высоту и объемное геометрическое подобие не наблюдалось. Данный фактор не позволил нам провести корректный анализ объемных изменений при послеусадочном набухании. Это дает основание предполагать, что при усадке глинистые системы с пластинчатыми частицами из изотропного состояния переходят в анизотропное, т.е. микрочастицы базальной поверхностью ориентируются перпендикулярно вертикальной оси.

5. Исследование напряженно – деформированного состояния глинистых грунтов в процессе их усадке

Согласно Лыкову А.В. [45] если считать предельным напряжением усадки прямоугольной пластинки нормальное напряжение недопускающее усадку, то по закону Гука можно написать

$$P_n = E \frac{\ell - \ell_{cp}}{\ell_H} = \beta_\ell E \frac{\ell_0}{\ell_H} (W_\epsilon - \bar{W}_\epsilon), \quad (13)$$

где P_n - нормальное напряжение; E – модуль линейной деформации образца; ℓ - исходный линейный размер образца; ℓ_{cp} - средний размер образца в упругой зоне усадочной деформации при достижении состояния среднего влагосодержания образца; ℓ_H - размер образца при начальном влагосодержании W_n ; W_ϵ – влагосодержание в каждом элементарном слое образца; \bar{W}_ϵ - среднее водосодержание образца; β_ℓ - коэффициент линейной усадки, Если распространить решение по выражению (13) на прямоугольный глинистый образец с одномерным полем влагосодержания, то указанное выражение надо разделить на $(1 - \mu)$, где μ - коэффициент Пуассона, и получить

$$P_n = \frac{\beta_\ell E}{(1 - \mu)(1 + \beta_\ell W_{\epsilon,m})} (W_\epsilon - \bar{W}_\epsilon). \quad (14)$$

Перепад между средним влагосодержанием в середине образца \bar{W}_b и влагосодержанием образца на его поверхности $W_{b,\Pi}$ будет равен:

$$\bar{W}_\epsilon - W_{b,\Pi} = \frac{2}{3} \nabla W_\epsilon = -\frac{R}{3} (\nabla W_\epsilon)_\Pi, \quad (15)$$

где $\nabla W_\epsilon = W_{\epsilon,ц} - W_{\epsilon,\Pi}$ - перепад влагосодержания между средней частью образца и его поверхностью; R – половина толщины образца; $(\nabla W_\epsilon)_\Pi$ - градиент влагосодержания на поверхности образца.

Растягивающее напряжение на поверхности образца равно:

$$P_\Pi = -\frac{2}{3} \frac{\beta_\ell E \Delta W_\epsilon}{(1 + \beta_\ell W_{\epsilon,m})(1 - \mu)} = \frac{\beta_\ell ER}{3(1 - \mu)(1 + \beta_\ell W_{\epsilon,m})} \quad (16)$$

Усадка глинистого грунта должна следовать за потерями влаги и быть им пропорциональной при некотором коэффициенте пропорциональности. В рассматриваемом случае диффузия влаги протекает при таких начальном и граничных условиях, что поверхностями одинаковой влажности являются плоские поверхности, перпендикулярные направлению потока влаги. В таком случае содержание влаги в различных точках образца грунта зависит только от координаты x , отсчитываемой в направлении толщины образца грунта и времени t . Уравнение диффузии имеет вид:

$$\alpha^2 \frac{\partial W_\epsilon}{\partial t} = \frac{\partial^2 W_\epsilon}{\partial x^2} \quad (17)$$

где W_ϵ – влагосодержание в образце глины; $\alpha^2 = I/k$ постоянная диффузия; t - время.

Полное решение уравнения (17), соответствующее случаю, когда торцы рассматриваемого образца высотой x_0 поддерживаются при нулевой влажности, имеет вид:

$$W_g(x,t) = \sum_{n=1}^{n=\infty} A_n \sin \frac{n\pi x}{x_0} \cdot e^{-\frac{\lambda^2 t}{\alpha^2}}, \quad (18)$$

где $\lambda = n\pi/x_0$; A_n определяется из начального условия и в общем случае, когда начальное распределение влаги

$$W_g(x,0) = \varphi(x) \quad (19)$$

$$A_n = \frac{2}{x_0} \int_0^{x_0} \varphi(x) \sin \frac{n\pi x}{x_0} dx. \quad (20)$$

При равномерном начальном распределении влаги в образце глинистого грунта решение уравнения имеет вид:

$$W_g(x,t) = \frac{4W_{g0}}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{2n-1} \sin \frac{2(n-1)\pi x}{2b} \cdot e^{-\frac{(2n-2)^2 \pi^2 kt}{4b^2}}. \quad (21)$$

Для практического приложения необходимо располагать значениями коэффициента диффузии влаги из глинистого грунта. Теоретически коэффициент диффузии можно определить по способу, предложенному Н.Веcker и С.Масинис [46]. Для образцов глинистых грунтов, высушиваемых с одной или двух граней, решение задачи о потере влаги в точке на любой глубине x с помощью (21) найдём в виде:

$$\frac{W_{g0} - W_g(x,t)}{W_{g0}} = 1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{2n-1} \sin \frac{2(n-1)\pi x}{2b} \cdot e^{-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 kt}{4b^2}}. \quad (22)$$

Приближенно можно считать, что деформация усадки глинистого грунта $\delta_y(t)$ линейная функцией средней потери влаги образцом $W_g(t)$, т.е.

$$\frac{\delta_y(t)}{\delta_{y.пред.}} = \frac{W_g(t)}{W_{g.пред.}}, \quad (23)$$

где

$$W_g(t) = \frac{1}{2b} \int_0^{2b} W_b(x,t) dx. \quad (24)$$

Интегрируя (21) по толщине образца глинистого грунта и деля полученный результат на её толщину, можно получить выражение для средней относительной потери влаги: а, принимая во внимание пропорциональную зависимость между потерей влаги и усадкой (23) будем иметь

$$\frac{\delta_y(t)}{\delta_{y.пред.}} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} e^{-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 kt}{4b^2}}. \quad (25)$$

Деформацию усадки образца в виде прямоугольной призмы во времени можно определить по формуле:

$$\delta(t) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \left\{ \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} e^{-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 kt}{4\alpha^2}} \right\} \cdot \left\{ \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} e^{-\frac{(2n-1)^2 \pi^2 kt}{4b^2}} \right\} \cdot \delta_{y.пред.}. \quad (26)$$

6. Трещинообразование в глинистых грунтах при усадке

В процессе усадки в глинах, вследствие неравномерности действия различных напряжений, возникают трещины.

Явление локального разрушения от действия только касательных напряжений имеются в случае высыхания поверхности глинистого грунта в природных условиях, когда возникает сеть поверхностных трещин [45]. В этом случае предельное касательное напряжение прямо пропорционально градиенту влагосодержания и длине поверхности, т.е.

$$P_{m \text{ maks}} = \frac{\beta_t E_c Z}{(1 + \beta_t W_{e.v})} (\nabla W_e)_{II} \cdot \quad (27)$$

где E_c -модуль деформации сдвига глинистого грунта; $(\nabla W_e)_{II}$ - градиент влагосодержания у поверхности, взятой по глубине x грунта; $(\nabla W_e)_{II} = (dW_e / dx)_{II}$; z - расстояние вдоль поверхности.

Образования трещин при усадке в глинах грунтах наравне с растягивающими и сжимающими напряжениями способствуют также и опасные касательные напряжения.

Для описания усадочного трещинообразования в глинистых грунтах нами предлагается методика, основанная на синергетике.

Синергетика – наука, занимающаяся изучением процессов самоорганизации, устойчивости и распада систем различной природы [47].

Тип трещинообразования при усадке глинистых грунтов в естественных условиях носит случайных характер. Добавочную энергию в виде некоторой влажностной флуктуации, по аналогии с тепловой флуктуацией, которую необходимо сообщить находящемуся в неустойчивом состоянии микрообъёму для трещинообразования, назовём энергией активации \mathcal{E} , определяемой из условия:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 - \alpha \sigma, \quad (28)$$

где \mathcal{E} - энергия разрыва связи между микрочастицами глинистого грунта; α - активационный объём; σ - образуемое при усадке растягивающее напряжение.

В нашем случае представим, что

$$\alpha \sigma = A \exp[\beta(W_0^{-1} - W^{-1})]. \quad (29)$$

где β - коэффициент, зависящий от минералогического состава грунта; W - влажность глины в фиксируемый момент при усадке; W_0 - влажность глины в исходном состоянии до усадки; A - уровень энергии рассматриваемого микрообъекта или элемента сечения при $W_0 = W$. Тогда для энергию активации запишем:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 - [\beta(W_0^{-1} - W^{-1})]. \quad (30)$$

Вероятность того, что энергия активации может накопиться при текущем значении влажности, задаёмся выражением, полученным по аналогии из формулы Больцмана:

$$q = \exp(-\mathcal{E} / kW). \quad (31)$$

где q – утонение трещины; k – постоянная Больцмана.

Из выражений (30) и (31) следует:

$$-\mathcal{E} + A \exp[\beta(W_0^{-1} - W^{-1})] = kW \ln q. \quad (32)$$

Запишем это выражение для трёх различных влажностей грунта: W_0 ; W_1 - влажность начала трещинообразования в глинистом грунте при усадке и W - произвольной, меньшей чем W_0 :

$$-\mathcal{E}_0 + A = kW_0 \ln q_0; \quad (33)$$

$$-\mathcal{E}_0 + A \exp[\beta(W_0^{-1} - W_1^{-1})] = kW_1 \ln q_1; \quad (34)$$

$$-\mathcal{E}_0 + A \exp[\beta(W_0^{-1} - W^{-1})] = kW \ln q. \quad (35)$$

Вычтем из уравнений (35) и (34) уравнение (33) и разделим полученные формулы одна на другую:

$$\frac{[\exp[\beta(W_0^{-1} - W^{-1})]] - 1}{[\exp[\beta(W_0^{-1} - W_1^{-1})]] - 1} = \frac{\ln(q^W / q_0^{W_0})}{\ln(q_1^{W_1} / q_0^{W_0})}. \quad (36)$$

Разложив в ряд экспоненту, учтя первые два члена и сместив асимптоту с нуля на q_{\min} , после преобразования получаем:

$$q = \frac{(q_1 - q_{\min})^{N_1}}{(q_0 - q_{\min})^{N_2}} + q_{\min}; \quad (37)$$

$$N_1 = \frac{W_1^2(W - W_0)}{W^2(W_1 - W_0)}, \quad N_2 = \frac{W_0^2(W - W_1)}{W^2(W_1 - W_0)}, \quad (38)$$

где q_0 , q_1 - соответствуют влажностям W_0 , W_1 , $q_{\min} \neq 0$ т.к. даже при полном водонасыщении в естественном глинистом грунте имеются микротрещины.

Выводы:

1. Системный анализ исследований процесса усадки глин показал, что исследователи придерживаются двух теориях формирования процесса усадки: капиллярной и водно – коллоидной.
2. Величина усадки глинистых грунтов зависит от многих факторов, среди которых определяющую роль играют минеральный состав глин, формы частиц глинистых минералов, структура и текстура глин. В процессе усадки хаотичная ориентация частиц становится более упорядоченной, в конечном итоге на пределе усадки глины с пластинчатыми частицами стремятся перейти в анизотропное состояние, с ориентацией частиц базальной поверхностью перпендикулярно вертикальной оси.
3. Экспериментальные исследования кинетики усадки глин показали, что графики зависимости усадки от времени высыхания носят параболический характер, а длительность процесса усадки образцов глин значительно превышает длительность процесса их набухания, причем длительность процесса усадки зависит от удельной поверхности глинистых минералов
4. Анализ исследований напряжений, возникающих при усадке глинистых грунтов показывает, что они зависят от минерального состава глинистых грунтов и наибольшие значения напряжении возникают в монтмориллонитовых глинах, обладающих наибольшей удельной поверхностью.
5. Теоретическое описание напряженно-деформированного состояния усадки глинистого грунта проведено на основе решения уравнения диффузии влаги из грунта при его высыхании.
6. При исследовании усадочного трещинообразования в глинах использована методика, основанная на синергетике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zsigmondy R. Zeitschrift fur anorganische chemie, 71, 356, 1911.
2. Терцаги К. Строительная механика грунтов. М.-Л., «Госстройиздат», 1933, 292 с.
3. Sridharan A., Rao V. Effective stress theory of shrinkage phenomena. Canad.Geotechn. J., vol.8, №4, 1971.
4. Шмелёв А.А. Набухание, рабочее состояние и воздушная усадка глин. Труды Государственного исследовательского керамического института, выпуск 34, М., 1932.
5. Филатов М.М. Основы дорожного грунтоведения. М., «Гострансиздат», 1936, 538 с.
6. Шаров В.С. Поверхностные растворимость глинистых частиц. «Коллоидный журнал», т.V, вып.7, 1939.
7. Рельтов Б.Ф. Усадочные явления в связанных водонасыщенных грунтах. Известия ВНИИГ, т.33, Л.-М., «Госэнергоиздат», 1947.
8. Роде А.А. Почвенная влага. М., Издательство АН СССР, 1952, 456 с.
9. Сергеев Е.М. Грунтоведение. М., Издательство Московского университета, 1959, 334 с.
10. Приклонский В.А. Грунтоведение. Часть 1, М., «Госгеотехиздат», 1955, 430 с.
11. Овчаренко Ф.Д. Гидрофильность глин и глинистых минералов. Киев, Издательство Академии Наук Украинской ССР, 1961, 292 с.
12. Грим Р.Е. Минералогия глин. М., Издательство иностранной литературы, 1956, 454 с.
13. Веземская А.Л., Казанский М.Ф. Некоторые особенности усадки глин разных минералов при сушке. «Инженерно-физический журнал», т.5, №2, 1962. С. 78-84.
14. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М. Поверхностные силы. М., «Наука», 1985, 398 с.
15. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. М., ГЕОС, 2013, 576 с.
16. Афанасьев А.Е., Чураев Н.В. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства. М., «Недра», 1992, 288 с.
17. Jong R.W., Warkentin B.R. Introduction to soil behavior. McMillan, N.Y., 1966, 320 p.

18. Охотин В.В. Гранулометрическая классификация грунтов на основе их физических и механических свойств. Ленинград, 1933, 128 с.
19. Круглицкий Н.Н. Физико-химические основы регулирования свойств дисперсий глинистых минералов. Киев, «Наукова думка», 1968, 320 с.
20. Денисов Н.Я. Изучение объёмной усадки грунтов. «Дорога и автомобиль», №8, 1937, с.27-30.
21. Морозов С.С. Материалы по региональному грунтоведению. М., Издательство Московского университета, 1964, 154 с.
22. Williamson W.O. Some structures of unified pottery bodies revealed by a new technique. Trans.Brit. Ceram. Soc., 40, 1941, p. 88-101.
23. Лэмб Т.Р. Структура уплотнённой глины. Перевод статей по гидрогеологии, вып.1, ВСЕГИНГЕО, М., 1962. с. 3-18.
24. Рогаткина Ж.Е. Влияние анизотропности глинистых грунтов на их физико-механические свойства. «Основания, фундаменты и механика грунтов», №1, 1967, с.14-15.
25. Димитрова Р.И. Исследование природы усадки глинистых грунтов. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук, М., Издательство Московского университета, 1974. 22 с.
26. Фрейсинэ Е. Переворот в технике бетона. Л.-М., ОНТИ, 1938.
27. Ребиндер П.А. Структурно-механические свойства глинистых пород и современные представления физико-химии коллоидов. В кн.: Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения, т.1, М., 1956, с.31-44.
28. Остриков М.С., Свирская О.Т., Духнина Т.П. О кинетике роста усадочных напряжений на высыхающих системах. «Коллоидный журнал», т.23, №1, 1964, с.134-138
29. Охотин В.В. Грунтоведение. Санкт – Петербург, 2008, 231 с.
30. Чураев Н.В. Физико-химия процессов массопереноса в пористых телах. М., «Химия», 1990, 272 с.
31. Остриков М.С. Усадочное напряжение как равнодействующая ряда составляющих. В кн.: Проблемы физико-химической механики волокнистых и пористых дисперсных структур и материалов, Рига, 1966, с. 66-69.
32. Остриков М.С., Минкин М.Б., Духнина Т.П. Исследование усадочных напряжений на почвах в процессе высыхания и увлажнения. «Почвоведение», №8, 1969, с. 31-37.
33. Передельский Л.В., Ананьев В.П. Набухающие глинистые грунты Северного Кавказа. Ростов-на-Дону, Издательство Ростовского университета, 1987, 144 с.
34. Шадунц К.Ш., Ляшенко П.А. Оценка напряжений, возникающих в глинистых грунтах в процессе усадки. В кн.: Строительство на набухающих грунтах, Тезисы докладов II Всесоюзного совещания (Ростов-на-Дону), М., 1972, с.78-80.
35. Кульчицкий Л.И., Усыряев О.Г. Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород. М., «Недра», 1981, 180 с.
36. Ефремов И.Ф. Периодические коллоидные структуры. Ленинград, «Химия», 1971, 192 с.
37. Кульчицкий Л.И., Усыряев О.Г., Габибов Ф.Г. Физико-химическая модель водонасыщенной глины и её применения при изучении объёмных деформаций глинистых грунтов. Баку, Изд-во АЗНИИСА Госстроя Азербайджана, 2000, 41 с.
38. Осипов В.И., Нгуен Нгок Бик, Румянцева Н.А. Циклическая набухаемость глин. «Инженерная геология», №2, 1982, с. 23-36.
39. Вовк В.М., Богдевич О.П. Циклическая набухаемость неогеновых глин Молдовы. Известия АН МССР. Физика и техника, №3, 1993, с. 118-121.
40. Nowamooz H., Magrouri F. Hidrotechnical behavior of an expansine bentonite / silt mixture in cyclic suction – contrarolled drying and wetting tests. Engineering Geology, 101, 2008, p. 154-164.
41. Nowamooz H., Magrouri F. Mechanical behavior of expansive soils after several olrying and wetting cycles. Geomechanics and Geoengineering, 5, 2010, p.213-221.
42. Alonso E.E. Romero E, Hoffman c., Exsudero E.G. Expansive bentonitefsand mixture in cyclic controlled suction alrying and wetting. Engineering Geology, 81, 2005, p. 231-226.
43. Sun W.J., Sun D.A. Conpled modelling of hydro-mechanical behavior of unsaturated compacted expansive soils. Interbational Journal for Numerical and Analytical Methads in Geomechanics, 36, 2011, p. 1002-1022.
44. Габибов Ф.Г. Набухающая способность Уджарских засоленных глин. Экспресс-информация ЦБНТИ Минводхоза СССР, серия 1, выпуск 3, М., 1982, с.1-2.
45. Лыков А.В. Теория сушки. М., «Энергия», 1968, 472 с.
46. Becker H., Macinis C.A. A theoretical method for predicting the shrinkage of concrete. Journal ACI, Proc., v.70, №9, 1970. p. 33-41.
47. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивости в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985, 419 с.

УДК 711. 472

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЖИЛЫХ МАССИВОВ ГОРОДА БАКУ*док. фил. по архитектуре Кахраманова Шахла Шехали гызы
Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет, Баку***MODERN PROBLEMS OF HOUSING ESTATES DEVELOPMENT IN BAKU-CITY***ph.d. of architecture Gahramanova Shahla Shehali gizi
Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku***BAKİ ŞƏHƏRİNDƏ YAŞAYIŞ MASSİVLƏRİNİN MÜASİR İNKİŞAF PROBLEMLƏRİ***mem. üzrə fəlsəfə doktoru Qəhrəmanova Şəhla Şıxəli gızı
Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı*

Аннотация. В статье были исследованы современные проблемы развития жилых массивов города Баку. Как и любой мегаполис на определенном этапе развития, Баку столкнулся с рядом градостроительных проблем, которые требуют своего безотлагательного решения. К их числу можно отнести сложность управления транспортными потоками, деградацию природных ландшафтов, ограниченность территорий для дальнейшего развития, чрезмерную плотность застройки, ухудшение качества жилой среды и т.д. В статье были рассмотрены трансформации, происходящие в промышленной зоне Баку, освещены проблемы развития жилых планировочных единиц центральной зоны. Также были затронуты градостроительные проблемы развития жилых массивов Северо-Западной и Восточной селитебных районов, выявлены особенности трансформации жилых массивов Баку в рыночных условиях. Рассмотренные проблемы и закономерности приводят к необходимости поиска альтернативных путей и подходов, направленных на переоценку ценностных категорий в организации жилой среды, формулированию современных принципов формирования жилой среды, улучшение ее пространственных характеристик, повышение требований к ее качествам с позиции «гуманизации архитектурной среды»¹ и избегания «визуальной агрессии в архитектуре»².

Ключевые слова: жилые массивы, город Баку, градостроительные трансформации, жилые планировочные единицы, микрорайонная застройка.

Xülasə. Məqalədə Bakı şəhərində yaşayış massivlərinin müasir inkişaf problemləri tədqiq olunmuşdur. Hər bir meqapolisdə olduğu kimi müəyyən inkişaf dövründə Bakı bir sıra şəhərsalma problemləri ilə üzləşmişdir və bu problemlər dərhal öz həllini tələb edir. Bura nəqliyyat axınlarının idarə etmə çətinliyi, təbii landşaftların deqradasiyası, gələcək inkişaf üçün ərazilərin məhdudluğu, tikintinin həddən artıq sıxlığı, yaşayış mühitinin keyfiyyətinin aşağı düşməsi və s. daxildir. Məqalədə Bakının istehsalat zonasında baş verən transformasiyalar nəzərdən keçirilmişdir, mərkəzi zonada yaşayış planlaşdırma vahidlərinin inkişaf problemləri işıqlandırılmışdır. Həmçinin Simal-qərb və Şərq yaşayış rayonlarında yaşayış planlaşdırma vahidlərinin inkişaf problemlərinə toxunulmuşdur, bazar iqtisadiyyatında Bakının yaşayış massivlərinin inkişaf problemləri müəyyən edilmişdir. Tədqiq olunan problemlər və qanunauyğunluqlar yaşayış məkanının təşkilində dəyər kateqoriyalarının yenidən qiymətləndirilməsinə, yaşayış məkanının müasir formalaşma prinsiplərinin ifadə edilməsinə, onun məkan xarakteristikalarının yaxşılaşdırılmasına, “memarlıq mühitinin humanizasiyası” və “memarlıqda vizual aqressiya”dan uzaqlaşmaq nöqtəyi-nəzərindən onun keyfiyyətlərinə olan tələbatların artırılmasına yönəlmiş alternativ yollar və yanaşmalar axtarışının zəruriliyinə gətirib çıxarır.

Açar sözlər: yaşayış əraziləri, Bakı şəhəri, şəhərsalma transformasiyası, yaşayış vahidləri, mikrorayon tikintisi.

Abstract. The article is devoted to modern problems of housing estates development of Baku city.

¹ Под процессом гуманизации среды понимается ее совершенствование в целях достижения физического, психологического и духовного комфорта человека в искусственной среде (город и пр.). Гуманизацию можно рассматривать как один из этапов восстановления гармонии между человеком, обществом и природой.

² Визуальная агрессия в архитектуре – визуальная среда, влияющая агрессивно на поведение людей и отрицательно на их здоровье. Визуальные опасности опасности делят на две группы: гомогенные визуальные поля, когда смотреть практически не на что, из-за отсутствия достаточного количества зрительных деталей; агрессивные визуальные поля – равномерно распределенные одинаковые зрительные элементы. Агрессивная визуальная среда делает человека агрессивным.

Like any Metropolitan city at a certain stage of development, Baku has faced a number of urban problems, which require urgent solutions. They include the complexity of traffic management, degradation of natural landscapes, limited areas for further development, excessive density, the deterioration of the living environment, etc. The article discusses the transformation occurring in the industrial area of Baku, the problems of the development of residential planning units of the central zone. It also been affected by the urban problems of development of residential areas in the North-Western and Eastern residential areas, the peculiarities of transformation of Baku housing estates in market conditions. Investigated problems and patterns lead to the need of finding alternative ways and approaches for the revaluation of values in the organization of the living environment, the formulation of the modern principles of the living environment, improvement of its spatial characteristics, increasing demands for its qualities in the context of “humanization of architectural environment” and avoidance “visual aggressiveness in architecture”.

Key words: housing estates, Baku-city, urban transformation, residential units, microdistrict development.

Введение: Перспективное развитие столичного города Баку является одной из самых острых проблем градостроительства Азербайджана. На современном этапе Баку является единственным мегаполисом в стране и ядром Бакинской агломерации. Здесь сосредоточено большое количество населения, большинство социально-культурных и образовательных учреждений, промышленных комплексов Азербайджана.

На рубеже XX-XXI веков в градостроительстве Баку отдавалось предпочтение точечной застройке. В настоящее время происходит интенсивная застройка жилых массивов Баку, что стало причиной изменения планировочной структуры. Плотности застройки в городе превышены, недостаточно дворов и мест для парковок. Все это происходит в виду того, что жилые территории Баку осваиваются фрагментарно, реже следуя «квартальному принципу». Проектируемые жилые кварталы Баку иногда не отвечают современным требованиям из-за перенаселения города, узких жилых улиц, высокой плотности застройки, отсутствия зеленых насаждений и т.д.

Большие проблемы сегодня сложились и в пригородном строительстве Баку, которое велось, неорганизованно 1-2 этажными индивидуальными зданиями и сегодня создает проблемы для развития города. Такая застройка, как правило, не сопровождается прокладкой коммуникаций и необходимой инфраструктурой, обустройством территории. В результате высоких темпов строительства на Апшероне сократилась территория для развития города.

В настоящее время в период трудовой занятости населения в разных сферах экономики, разрушения ступенчатой системы обслуживания, повышения мобильности и информатизации населения повсеместно в жилую среду интегрируется коммерческий, производственный процесс, происходят непредвиденные планировочные, социальные изменения, что вызвало необходимость «усовершенствования» жилых массивов Баку. В данной связи становится актуальным исследование динамики современных процессов трансформаций жилых планировочных единиц.

1. Трансформации, происходящие в промышленной зоне Баку

Как и любой мегаполис на определенном этапе развития, Баку столкнулся с рядом градостроительных проблем, которые требуют своего безотлагательного решения. К их числу можно отнести сложность управления транспортными потоками, деградацию природных ландшафтов, ограниченность территорий для дальнейшего развития, высокая плотность застройки.

Расползание города привело к захвату окружающих поселений и городов Апшерона и образованию Бакинской агломерации (Большой Баку). В результате дальнейшее развитие Баку представляется возможным исключительно за счет внутренних территориальных резервов, путем интенсификации строительства в местах сноса ветхой малоэтажной застройки, редевелопмента старой промышленной зоны, а также освоения неудобных земель.

До недавнего периода город обладал трехчастной планировочной структурой (с промышленной зоной посередине и жилыми районами – по бокам), благодаря особенностям природно-климатических условий и исторического развития.

В связи с тенденцией перехода от индустриальной к инновационной модели экономики во всем мире, необходимость в огромных промышленных зонах в старопромышленных городах отпадает, появляется потребность в сокращении промышленных территорий, переносе части из них за пределы города, создании гибких инновационных кластеров и технопарков, и т.д. [11, с.99]. По этому старая промышленная зона Баку, где большая часть промышленных предприятий не функционирует или устарела физически и морально, должна стать предметом реабилитации.

Занимая огромную территорию (около 30%) всей территории Баку в административных границах) эти территории «призраки» порождают ряд проблем, среди которых особую озабоченность вызывает высокий уровень загрязнения среды, перегрузка транспортных артерий, невозможность использования этих территорий для развития городской инфраструктуры, жилищного строительства и т.д. Со схожими проблемами сталкиваются многие «старопромышленные» города мира [3, 6, 8].

Таким образом, старая промышленная зона является резервом для развития жилой и общественной застройки, формирования новых зеленых массивов. Кроме того, это – мощный фактор формирования целостной и композиционно завершенной городской застройки.

В Баку уже начат процесс редевелопмента отдельных частей промышленной зоны. Так, примером удачного комплексного преобразования части промышленной зоны может считаться проект нового жилого массива «White city» на территории Черного города (221 га), который рассчитан на 50 тыс. жителей³ и будет состоять из 10 жилых районов [7].

В настоящее время идет реализация данного проекта. Основной концепцией является архитектурное разнообразие, экологическая совместимость и продуманная интеграция нового участка в городской контекст. Экологический вектор проекта очень важен, так как на этой территории протяжении более века велась добыча и переработка нефти, и где нефтью и нефтепродуктами были пропитаны не только почвы, но и водоносные горизонты. В европейских странах имеется строгий экологический контроль за проведением строительства на подобных территориях, с целью рекультивации и реабилитации сильно загрязненных земель выделяются огромные инвестиции и требуется достаточно много времени для полного восстановления ландшафтов [4, с.213].

2. Проблемы развития жилых планировочных единиц центральной зоны.

Особую озабоченность вызывает состояние центральных жилых районов, где за последние годы произошло нарушение композиционного единства облика районов, нарушено гармоническое сочетание «старой» и «новой» застройки. Необходимо отметить, что помимо многочисленных памятников архитектуры разных эпох, вся планировочная структура центральной зоны Баку XIX начале XX также относится к групповой охранной зоне [1, с.35].

Сегодня городская среда центральной зоны Баку характеризуется разнотильем и разномасштабностью. Современная городская застройка здесь до сих пор перемежается с 1-2 этажными домами, построенными в начале прошлого века. Общеизвестно, чрезмерно разнотильная и немасштабная человеку застройка, так же как и монотонная застройка, психологически давят на человека, ухудшают его эмоциональное состояние. К типичным характерным чертам жилой среды центральной зоны можно также отнести, чрезмерную плотность отсутствие комфортности.

Серьезным трансформациям подверглись и жилые образования других частей города.

³ Главным консультантом проекта является компания «Atkins» (Великобритания). В его создании принимали участие «Foster+Partners» и «F+A Architects».

В условиях перехода республики от плановой к рыночной экономике, усилилась интенсивности, хаотичности застройки жилых массивов Баку. Строительство здесь велось точечной многоэтажной застройкой. Подобные точечные вкрапления в жилую ткань постепенно пространственно распространились от центра к окраинам. Вкрапления чаще всего производились на любом пустом пятке земли. Это привело к нарушению достаточному противопожарных дистанций, норм плотности и инсоляции и др. в зоне застройки, к не учету средового контекста. Все это сопровождалось резким сокращением общественных пространств и озелененных зон. Все эти трансформации говорят о важности сокращения до минимума многочисленной выборочной застройки отдельными домами и мелкими группами или кварталами, которая сейчас составляет, около половины всего строящегося жилья, не давая возможности создавать завершённые участки города.

3. Градостроительные проблемы развития жилых массивов Северо-Западной и Восточной селитебных районов

Негативные трансформации затронули и Северо-Западный и Восточный селитебные районы города. Эти жилые массивы были заложены во второй половине XX века как отклик новой концепции «микрорайонов» со ступенчатой структурой обслуживания, которая пришла в СССР из Европы в 1950-1960-х годах и в то время представлялась концепцией будущего. Так же, как и его аналоги нейборхуд (США) и комьюнити (Великобритания и Европа) микрорайоны должны были стать элементарными самодостаточными жилыми планировочными единицами в городах с целью решения санитарно-гигиенических, социальных и др. проблем [12].

Планировщиков привлекала возможность проектировать огромные пространства вместо небольших замкнутых кварталов. Преимуществами микрорайонной застройки в жилых массивах Баку были:

- возможность ввода больших объемов жилья типовых серий в кратчайшие сроки;
- ступенчатая и массовая система обслуживания населения;
- озелененные и благоустроенные кварталы, отвечающие нормам времени;
- удобная пешеходная доступность детских учреждений (детские сады, школы);
- наличие системы необходимого повседневного обслуживания (учреждения питания, торговли, спорта, хозяйственно-бытового обслуживания);
- удобство транспортных и пешеходных связей с местами приложения труда;
- благоприятные условия быта и отдыха;
- безопасность движения транспорта и пешеходов;

Однако, в микрорайонах первого поколения города Баку (1-3 микрорайоны) имелись следующие недостатки:

- узкий диапазон этажности жилых домов (в основном 5, реже 9);
- ограниченность планировочной гибкости зданий (два типа домов – протяженный и точечный);
- отсутствие запоминающегося силуэта (безликость);
- невыразительность композиционных приемов застройки жилых групп (монотонность);
- несоответствие планировочных приемов климатическим условиям Баку и Абшерона;
- недостатки планировки квартир и их параметров⁴.

В проектировании и застройке последующих микрорайонов, а также новых жилых массивов в районе Ахмедлы, Гюнашлы, 8-ой км, большинство перечисленных недостатков было учтено и созданы новые жилые районы из крупнопанельных домов, более приспособленных для условий Абшерона. В общем, на территории жилых массивов Баку встречаются следующие виды типовых проектов жилых домов: сталинка, ленинградский, экспериментальный, киевский, ахундовский, немецкий, хрущовка, минский, французский, итальянский, шахматный и американский [10].

⁴ Технология и серии 5-ти этажных домов разработаны французской фирмой «Камю».

Первые типы проектов жилых домов (хрущовки и др.) — это жилые ячейки чисто утилитарного значения, за отсутствием эстетической составляющей городской среды. Для того периода времени они сыграли важную роль в краткосрочном решении экономической задачи, а именно в расселении миллионов граждан в отдельные квартиры. Время их эксплуатации вышло⁵, и хотя физически они еще могут служить людям, фактически стоимость их обслуживания будет расти с каждым годом эксплуатации.

На территории Баку жилая застройка в основном состояла из 5-9 этажных, реже 16-ти этажных зданий. Это было связано, прежде всего, с экономическими факторами⁶. По градостроительным нормам для жилого дома свыше пяти этажей требовался лифт, а свыше девяти этажей — еще и грузовой лифт.

Подобные однотипные панельные здания способствовали образованию на территории жилых массивов безликой и монотонной жилой среды. В такой среде было трудно ориентироваться, эти территории постепенно превращались в спальные районы.

В конце XX – начале XXI века в Баку с появлением новых технологий, позволяющих строить в массовом порядке дешевые высотные дома в Баку началось строительство домов повышенной этажности (17-24 этажные). Мировая медицина признаёт, что высотные дома не так безобидны, как экономически выгодны. Они психологически давят на человека, отрицательно влияют на проживающих на верхних этажах (начиная с восьмого), особенно людей страдающих сердечно-сосудистыми и нервными заболеваниями, повышают риск склонности к самоубийствам. Построенные из многоэтажек спальные районы формируют унылую депрессивную среду обитания, которая способствует формированию в них криминогенной обстановки.

Плотная, агрессивная разнотипная, и в то же время, безликая среда многоэтажных зданий не отличается комплексностью и оказывает определенное воздействие на поведенческие установки жителей. Она формирует у них тотальную отчужденность и индивидуализм, не способствует общению людей, дворы в таких домах не выполняют свою главную функцию пространства социализации, а служат лишь промежуточной зоной между квартирой и улицей. Современные многоэтажные многоквартирные дома, по большому счету предназначены только для жилья (дом-крепость) в отличие от дворовых структур и индивидуальной застройки, где роль общественных мест для общения соседей играют дворы. Это делает проблему регулирования застройки жилых массивов Баку особенно острой.

Сейчас спальные районы еще не похожи на гетто⁷ по социальному статусу, поскольку наше общество пока остается смешанным.

Известно, что в отдельных районах столицы с различными социальными слоями населения. Периферийные районы: микрорайоны, районы Гюнешлы, Ахмедлы, 8 км, Ени Ясамал, районы Папанина, Кубинка - считаются неблагоустроенными, тогда как центр города - районы ул. Низами, Баксовет, метро Эльмдяр Академиясы, Патамдар, Гянджлик и др. - благополучными. Такая социальная сегрегация отдельных районов Баку может усилиться благодаря джентрификации⁸ центральных районов.

⁵ Первые серии были рассчитаны на 25, а более поздние - на 50 лет.

⁶ В СССР, где заказчиком и застройщиком было государство, массовое типовое жилье носило характер эконокласса, другие факторы, в том числе воздействие многоэтажной застройки на городскую среду и другие факторы не рассматривались.

⁷ Гетто - это район куда насильственно (иногда в добровольно-принудительном порядке) сгоняется какая-то часть населения (выделенная по какому-то признаку, чаще всего, национальному, реже расовому или религиозному признакам (первоначально евреям) впервые были выделены в Марокко в 1280 г.

⁸ Джентрификация (англ. gentrification, иногда городская рециркуляция) — реконструкция и обновление строений в прежде не фешенебельных городских кварталах, либо согласно программе запланированного городского восстановления, либо в результате решений, принимаемых профессионалами и управляющими. В результате джентрификации происходит повышение среднего уровня доходов населения района за счет замены жителей с низкими доходами на более состоятельных.

Для решения вышеуказанных проблем нужно менять вектор строительства в городе Баку с разностильного жилья экономкласса на более сбалансированный тип застройки, ориентированный на повышение качества городской среды. Застройка должна быть комплексной, разнообразной по этажности и функциональному насыщению с соблюдением норм плотности и санитарно-гигиенических условий.

Основными предпосылками формирования и развития комплексной жилой застройки в жилых массивах Баку являются недостатки в планировании новых жилых структур, к которым относятся:

- нерациональное использование территорий жилых образований (высокая пористость застройки из-за больших разрывов между зданиями) и завышенный масштаб зданий;
- отставание в строительстве объектов социальной инфраструктуры при больших объемах возведения жилья;
- перегруженность дворовых пространств автотранспортом;
- недостаточно развитая система жилых улиц как разгрузочных элементов всей улично-дорожной сети городской структуры;
- низкий уровень и качество озеленения новых жилых образований;
- загрязнение окружающей среды;
- высокая нагрузка на общественный транспорт и возникновение дорожных пробок из-за ежедневного челночного движения местного населения к местам приложения труда;
- отсутствие мест приложения труда в шаговой доступности;
- слабо развитая сеть благоустроенных пешеходных улиц, велодорожек и велопарковок;
- отсутствие культурно-досуговой инфраструктуры, включая общественные пространства и места отдыха, предназначенные для жильцов различных возрастных групп;
- отсутствие благоустройства в придомовых территориях и несоответствие их предметного содержания потребностям человека (дефицит спортивных площадок, площадок для отдыха взрослого населения, водных объектов, малых архитектурных форм и т.п.);
- взаимозависимость зданий от централизованных инженерных сетей большой протяженности и т.п.

4. Трансформации жилых массивов Баку и рыночные условия

За последние два десятилетия изменилось отношение потребителя и застройщика к формированию жилых комплексов Баку.

Нарастающий темп жизни, растущая урбанизация и повышенная мобильность формируют новые требования и критерии оценки жилого пространства [6, с.4; 5]. Недостатки практики застройки жилых массивов прежних лет, а также насыщение рынка недвижимости, диктуют свои правила формирования архитектурного пространства жилых комплексов, где помимо квартир в многоэтажном здании жителям необходимо предложить доступность элементарных социальных и инфраструктурных объектов. Кроме того, в нынешних условиях с точки зрения экономической эффективности главными задачами являются следующие: интенсификация использования городских территорий, ускорение процесса проектирования и реализации. Отсутствие законодательной базы, отвечающей современным условиям и учитывающей интересы заказчика, исполнителя и потребителя рождает ряд социально-экономических, экологических и эстетических проблем и противоречий [9, с.34].

Выводы.

Таким образом, данные проблемы и закономерности приводят к необходимости поиска альтернативных путей и подходов, направленных на переоценку ценностных категорий в организации жилой среды, формулированию современных принципов формирования жилой среды, улучшение ее пространственных характеристик, повышение требований к ее качествам с позиции «гуманности» в контексте «агрессивных» внешних факторов и ограничений. Будучи современным мегаполисом, город Баку нуждается в гибкой, адаптивной, открытой будущим изменениям структуре и запросам городского сообщества. Необходимость создания новых компактных структурно-планировочных структур продиктована, также современными демографическими, экономическими, социальными, экологическими тенденциями.

Литература

1. Бабаева Ш.Ш. Архитектурно-планировочная организация жилых кварталов центральной зоны Баку. Дис... канд. арх. Баку, 2001, 175 с.
2. Власюк Н.Н. Новые методы планирования городов Беларуси // Вестник Брестского государственного технического университета. 2013. №1, с. 3-6.
3. Дрожжин, Р.А. Реновация промышленных территорий // Вестник Сибирского государственного индустриального университета № 1 (11), 2015, с.84-86.
4. Кахраманова Ш.Ш. Экологические проблемы Баку. Комплексный анализ и моделирование. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012, 532 с.
5. Лавринович И. Новые подходы к застройке городов: многофункциональный модуль жилого района// Архитектура и строительство, №2, 2014.
6. Неудачина М. А., Козыренко Н. Е. Современные тенденции совершенствования жилой среды города/ Новые идеи нового века – 2016. Том 2, с.243-247.
7. Официальный сайт проекта Baku white city -<http://www.bakuwhitecity.com>
8. Сеницына Н. Н. Адаптация промышленных образований Екатеринбурга к современным изменениям городской среды: Дис. ... канд. архитектуры: Екатеринбург, 2005, 215 с.
9. Тетиор А.Н. Социальные и экологические основы архитектурного проектирования.-М.: Академия, 2009, 240 с.
10. Типовые проекты жилых домов в Баку. Официальный сайт Azerbaijan Real State Agency <http://area.az/images/stories/tipologiya.png>
11. Усольцева М.С., Волкова Ю.В. Реновация промышленных зон в Санкт-Петербурге // Строительство уникальных зданий и сооружений. №2 (29), 2015, с. 98-111.
12. Федченко, И.Г. Принципы формирования жилых планировочных единиц в контексте современных тенденций градостроительства// АМІТ 1 (30) 2015.

УДК 725.94

СОВРЕМЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ АБШЕРОНА*Багірова-Ібрагімли Гюнай Арзу гызы**Azərbaydžanский Архитектурно-Строительный Университет, Баку***MODERN PROBLEMS OF INDUSTRIAL AREAS IN ABSHERON***Bagirova-İbrahimli Gunay Arzu gızı**Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku***ABŞERONUN SƏNAYE ƏRAZİLƏRİNİN MÜASİR VƏZİYYƏTİ***Bağirova-İbrahimli Gunay Arzu qızı**Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı*

Аннотация: В статье проведен анализ современного состояния подлежащих реновации промышленных территорий Абшерона. Абшеронский регион является крупнейшим промышленным центром Азербайджана. 50% всех промышленных предприятий сосредоточено здесь. Основные промышленные предприятия региона расположены в городах Баку и Сумгаит. В настоящее время в городе Сумгаит функционирует 121, в городе Баку - 1170, в Абшеронском районе 122 промышленных предприятий. Сегодня большинство промышленных предприятий этих городов в значительной мере морально и физически изношены, что делает невозможным их реконструкцию. Территории устаревших и не соответствующих современным требованиям промышленных предприятий Сумгаита и Баку нуждаются в реабилитации. В ходе анализа было выявлено, что вынос промышленных предприятий Баку, непосредственно связанных с добычей нефти и газа представляет большую сложность, тогда как большая часть промышленных предприятий по производству строительных материалов, мебели, одежды и обуви, химический и металлургической промышленности Баку и Сумгаита могут быть перенесены за пределы города в Абшеронский промышленный узел, а некоторые из них и в регионы Азербайджана.

Ключевые слова: Абшеронский регион, промышленный узел, реабилитация, промышленные предприятия, Баку и Сумгаит.

Xülasə: Məqalədə Abşeronun renovasiyaya ehtiyacı olan sənaye ərazilərinin müasir vəziyyətinin təhlili aparılmışdır. Abşeron regionu Azərbaycanın ən iri sənaye mərkəzidir. Burada ölkədəki sənaye müəssisələrinin 50%-i yerləşir. Regionun əsas sənaye obyektləri Bakı və Sumqayıt şəhərlərində cəmləşmişdir. Hazırkı dövrdə Sumqayıtda 121, Bakı şəhərində - 1170, Abşeron rayonunda isə 122 sənaye müəssisəsi fəaliyyət göstərir. Bu gün bu şəhərlərdə yerləşən sənaye obyektlərinin əhəmiyyətli hissəsi mənəvi və fiziki aşınmaya məruz qalmışdır ki, bu da onların rekonstruksiyasını mümkünsüz edir. Haldan düşmüş və müasir tələblərə cavab verməyən Sumqayıtın və Bakının sənaye müəssisələrinin əraziləri regenerasiya olunmalıdır. Aparılan təhlilin nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, bilavasitə neft və qazın hasilatı ilə bağlı Bakının sənaye müəssisələrinin şəhərdən kənara çıxarılması çətinliklərlə bağlıdır, lakin Bakı və Sumqayıtda yerləşən tikinti materiallarının, mebel, geyim və ayaqqabı istehsalı, kimya və metallurjiya sənayesinə aid sənaye müəssisələrinin böyük hissəsi şəhərdən kənarda Abşeron sənaye qovşağına, bəziləri isə Azərbaycanın digər regionlarına köçürülə bilər.

Açar sözlər: Abşeron regionu, sənaye qovşağı, regenerasiya, sənaye müəssisələri, Bakı və Sumqayıt.

Summary: In the article the analysis of modern state of Absheron industrial areas was considered. Absheron region is the largest industrial center of Azerbaijan. 50% of all industrial enterprises are concentrated here. The main industrial enterprises of the region are located in Baku and Sumgait. Currently 121 industrial enterprises operate in Sumgait, 1170 – in Baku, and 122 - in Absheron district. Today the majority of industrial enterprises in these cities is are morally and physically battered. That's why their reconstruction is impossible. The areas of outdated and not corresponding to modern requirements industrial enterprises of Sumgait and Baku are subject to rehabilitation. The analysis revealed that the removal of industrial enterprises Baku directly related to oil and gas production is more difficult, whereas the majority of industrial buildings producing construction materials, furniture, clothing and footwear, chemical and metallurgical industry in Baku and Sumgait can be transferred outside the city in the Absheron industrial hub, and other regions of Azerbaijan.

Key words: Absheron region, industrial hub, rehabilitation of areas, Baku and Sumgait.

Введение. Эффективное использование территории старых промышленных зон является важной задачей градостроительства Азербайджана на современном этапе. Наиболее актуальна она сегодня для Абшеронского полуострова, который вмещает в себя 70% промышленного потенциала страны. Сегодня, как и на протяжении столетия, Абшеронский регион является крупнейшим промышленным центром Азербайджана. 50% всех промышленных предприятий сосредоточено здесь. Однако, большинство промышленных предприятий Абшерона в настоящее время морально и физически изношены. Территории устаревших и не соответствующих современным требованиям промышленных предприятий региона нуждаются в реабилитации. Для определения путей реабилитации и редевелопмента старых промзон Абшерона необходимо изучение их современного состояния. Основные промышленные предприятия региона расположены в городах Баку и Сумгаит. В силу этого в дальнейшем в исследовании нами будут рассмотрены промышленные зоны этих двух городов.

1. Промышленная зона города Сумгаит.

Город Сумгаит расположен в северо-западной части Абшеронского полуострова в 35 км от г.Баку и вытянут полосой вдоль берега Каспийского моря в широтном направлении. Четко выраженная промышленная зона, где сосредоточена вся промышленность, расположена в западной части города. Площадь промышленного узла составляет 3940 га.

Профилирующей отраслью промышленности города Сумгаит является химическая, имеющая все необходимые предпосылки для своего эффективного развития. Строительство этих предприятий было начато в 1939 г. на месте одноименного селения. Сумгаит должен был стать городом-спутником Баку для разгрузки функций столицы. Уже в 1950 году он стал крупнейшим промышленным городом, где были представлены предприятия следующих основных отраслей: черной металлургии, цветной металлургии, химической, строительных материалов, местной промышленности и энергетики.

Территория промузла имеет значительную протяженность: с запада на восток максимальное расстояние между границами промузла составляет около 9 км. В промышленном узле можно выделить две основные сложившиеся промзоны:

- Химическая промзона, занимающая северо-западную и центральную части промузла, объединяет предприятия химической и нефтехимической промышленности, объекты отвалного складского и энергетического хозяйств этих предприятий;
- Сумгайтская промзона, расположенная в восточной части промузла, включающая предприятия металлургической промышленности, стройиндустрии, а также предприятий пищевой промышленности и автопредприятия.

Для химзоны в планировочном отношении характерным является наличие значительных разрывов между территориями предприятий. Разрозненное размещение предприятий объясняется, с одной стороны, наличием многочисленных коридоров для пропуска трубопроводов, с другой – наличием санитарных зон и противопожарных разрывов. В Сумгайтской промзоне предприятия, наоборот, расположены скучено, в стесненных условиях [5].

По данным пояснительной записки к Проекту планировки г. Сумгаит [4] в 1965 году к числу основных действующих предприятий относились Азербайджанский трубопрокатный завод имени В.И.Ленина; Сумгайтский алюминиевый завод; Сумгайтский завод синтетического каучука; Предприятие п/я 240; Сумгайтский суперфосфатный завод; Завод железобетонных изделий №1; Деревообрабатывающий завод №1; Завод крупнопанельного домостроения; Сумгайтская ТЭЦ №1. Кроме указанных предприятий в городе на указанный момент были размещены производственные предприятия монтажных и строительных организаций, кирпичный завод и предприятия местной промышленности, объединяемые Горпромкомбинатом.

К 1978 году ведущими отраслями промышленности города является химическая и металлургическая [5]. Крупнейший промышленный комплекс страны включал следующие предприятия: завод органических продуктов, завод хлорорганических продуктов, завод синтетического каучука, суперфосфатный завод, завод присадок, трубопрокатный и алюминиевый завод. Из предприятий машиностроения в промузле размещен завод компрессоров для домашних холодильников. Здесь также размещается большое количество предприятий промышленности стройматериалов и стройиндустрии.

В общем в этот период в составе промузла имелось 71 предприятие, из них 54 – существующих нереконструируемых, 15 – расширяемых и 2 строящихся. [5]. Очевидно, что к этому периоду количество предприятий, так же как ассортимент производимой продукции возрос.

С 1980-1985 годах на территории г.Сумгаит территории, отведенные под промышленные предприятия составляли более 2000,0 га, а количество работающих там доходило до 50,0 тыс. человек и этот показатель приходился в основном на отрасли тяжелой промышленности. Доля легкой и местной промышленности была ничтожно мала. Несмотря на то, что население города по сравнению с тем периодом выросло на более чем 50%, число работающих в сфере промышленности едва ли достигает 20,0 тыс человек, и только половина из них трудится на предприятиях тяжелой промышленности. Остальные 10,0 тыс. человек работают на вновь созданных предприятиях легкой промышленности, которые охватывают небольшие по размерам территории [2].

Наряду со старыми предприятиями, оставшимися в наследство от советского периода, в городе Сумгаит на территории ТЭЦ №2 расположен «Сумгаитский Парк Технологий» общей площадью 45 га, который вмещает кабельный завод, завод пластиковых труб, завод горячей оцинковки, завод центров точной обработки, завод металлических конструкций, завод электронных приборов, завод по производству электрического оборудования высокого напряжения, завод по производству солнечных коллекторов и котлов, завод по производству технических газов, машиностроительный завод, металлургический завод, завод для упаковки стекловых изделий, производственный участок по изготовлению бордюров, цех по производству медных и алюминиевых электротехнических трубок и цех по производству вентиляционных труб. Кроме того, в городе функционирует множество хлебопекарен, кондитерских цехов и др. В среднем в каждом из них количество работающих составляет 5-10 человек. Также продолжается строительство хлебозавода на 120 тонн в сутки, завода по производству масла, поликарбонатных стекол, алюминиевых и медных профилей, сэндвичных панелей и трансформаторов.

Предполагается также завершение проекта «Сумгаитская промышленная зона» (общая площадь 20 га) группы «Азярсун холдинг», который был начат в 2008 году. Уже начато строительство бумажного комбината и завода по производству масел на этой территории.

Значительная степень морального и физического износа предприятий химии и нефтехимии делает невозможным их реконструкцию. Это также относится к некоторым нижеперечисленным предприятиям, прекратившим свою деятельность:

- ОАО «Сумгаитские компрессоры» - построен в 1971-1972 годах, в настоящее время занимается ремонтом насосов и других устройств и изготовлением запчастей. Функционирует не по профилю и в 10% от проектной мощности.
- ОАО «Азербору» - трубопрокатный завод, построен в 1952 году. В настоящее время изготавливает трубы из заготовок, которые привозятся со стороны. Площадь завода 158,0 га
- ОАО «Азералюминий». Сдан в эксплуатацию в 1955 году. В 1997 году полностью прекратил свою деятельность. В настоящее время на предприятии работает 4 корпуса, которые выпускают первичный алюминий методом электролиза.

- ОАО «Сумгайтская Ворсовая пряжа» - сдан в эксплуатацию в 1976 году. В 1990-х годах прекратил и деятельность и возобновил ее в 2001 году в 3-5% (60-80 тонн/год) от производственной мощности.
- ОАО «Сумгайттрикотаж» - в настоящее время не функционирует. Количество работников – 8 человек.
- «Сумгайт-Тохуджу» - в настоящее время не функционирует. Количество работников – 4 человек [2].

Морально и физически устаревшие и не соответствующие современным требованиям промышленные предприятия Сумгаита целесообразно ликвидировать или перенести в специально созданные промышленные узлы. Общая площадь заводов «Азерхимия ИБ» составляет 565,5 га. Демонтаж этих заводов позволит использовать эти территории в целях рекреации, благоустройства и нового строительства после очистки и рекультивации этих земель [2]. Так, на территории бывшей ТЭЦ-2 площадью 45 га планируется размещение «Сумгайтского Парка Технологий», на месте завода поверхностно-активных веществ площадью 164 га – комплекса заводов СКСП, на территории завода Полимер 120 площадью 98 га, завода органического синтеза площадью 145 га, завода «Этилен-полиэтилен» площадью 119 га и завода EP-300 площадью 12 га - «Сумгайтского парка высоких технологий», «Сумгайтской промышленной зоны», приморского парка и зоны отдыха.

На сегодняшний день в Сумгаите расположено 121 производственное предприятие. Однако в Министерстве налогов Азербайджана зарегистрировано 4890 предприятий-налогоплательщиков в г.Сумгаит, большинство из которых функционируют в домах или в других непригодных помещениях. Очевидно, что на сегодняшний день требуется организация современных промышленных зон для размещения такого большого количества предприятий [2].

На заседании Кабинета Министров азербайджанской республики 20 октября 2010 году Президент Азербайджана И.Алиев в своем выступлении отметил необходимость превращения г.Сумгаит в центр промышленности, создать новый промышленный узел Абшерона на свободной территории площадью 5000-6000 га на автомагистрали Сумгаит-Гарадаг. Эта территория имеет удобные ж/д и автомобильные связи, магистральные газопроводы, водопроводы и ЛЭП, расположена вдали от жилых поселений, однако в радиусе обслуживания. Новый промышленный узел будет выполнять функции регионального промышленного центра. В «Абшеронском промышленном узле» могут быть перенесены не только промышленные предприятия г.Сумгаит и Хырдалан, а также крупные предприятия Баку, что превратит его в современный градостроительный элемент нового типа. В коммунальной зоне будут размещаться склады, учреждения грузового хозяйства для г.Баку, очистные сооружения для гг. Сумгаит и Хырдалан.

Все функционирующие рентабельные предприятия Сумгаита необходимо сохранить и сгруппировать в несколько зон по близким по отраслям промышленным кластерам. В результате создания новых предприятий химии и нефтехимии в новом «Абшеронском промышленном узле» в промышленной зоне г.Сумгаит высвободятся территории, которые после рекультивации и очистки можно будет использовать для рекреации и других целей. В частности прибрежные зоны могут быть использованы для развития курортов и зон отдыха [2].

2. Промышленная зона города Баку.

Промышленный район города Баку занимает центральное место в сложившейся трехчастной планировочной структуре города. Все авторы, работавшие над генпланами Баку начиная с 1937 года, отмечали, что трехчастное членение города, хотя и было оправдано в определенной мере климатическими и санитарно-гигиеническими

обстоятельствами, все же нарушало целостность композиционного построения городского плана, лишало город значительного и лучшего отрезка Бакинской бухты [6, с. 183].

В генплане 1986 года впервые было предложено изменение сложившейся планировочной структуры, что стало возможным благодаря значительной амортизации части промышленных объектов и возможности вывода других на центральный Абшерон. Этим генплан 1986 года принципиально отличался от своих предшественников. Такое решение давало возможность использовать центральный прибрежный район для нужд города [3].

Таким образом, по генплану 1986 года промышленная зона должна была сохраниться только в северной части центрального района. Вся его южная часть отводилась под селитьбу, научно-технические и научно-учебные зоны. Вся прибрежная полоса города от мыса Баилов и до Зыхского парка решалась как приморский бульвар. Город получал выход к морю на всем протяжении бакинской бухты [6, с. 183]. Данный генплан должен был затронуть не только Баку, но и Дюбенди, Тюркан, Говсан, Забрат, Алят. Однако этот план был применен не полностью.

В проекте развития Большого Баку (2014) сохранена концепция выноса части промышленных предприятий Баку, в том числе предприятий в районе бывшего Черного города за пределы Баку. По сути, новый генплан является логическим продолжением генплана 1986 года, но охватывает большую территорию. В настоящее время часть промпредприятий уже перенесена.

Сегодня промышленная зона Большого Баку, включая площадь нефтяных компаний, составляет 22% или 52834 га. Эти территории расположены в основном вокруг города Баку – на территории районов Гарадаг, Сабунчи, Сураханы и Хазар. Территории нефтяной промышленности составляют большую часть (62%) производственной зоны Баку. Промышленные территории на территории собственно Баку расположены расчлененно, однако в основном они сосредоточены в Гарадагском, Хатаинском, Низаминском, Наримановском и Бинагадинском районах. Общая площадь этих территорий составляет 6251 га. Территории карьеров (12746 га) сосредоточены в основном в Карадагском и Хазарском районах.

Территория Абшерона является основным промышленным центром Азербайджана. 50% всех промышленных предприятий сосредоточено здесь. По основным промышленным кластерам (нефтегазовый, производство услуг в добывающей промышленности, полиграфия, нефтепереработка, производство ювелирных изделий, производство музыкальных инструментов, спортивных товаров и медицинского оборудования, сборка машин и оборудования) доля Баку приближается к 100%. Более 70% изделий электрического оборудования, компьютерных и электронных инструментов, металлических изделий, строительных материалов, табачных изделий, металлургии, производится промышленными предприятиями Баку. Доля Баку в производстве мебели, автомобилей, медицинских препаратов, бумажных и картонных изделий относительно невелика [1].

В настоящее время в городе Баку функционирует 1170, в Абшеронском районе 122 промышленных предприятий. Наибольшее количество промышленных предприятий в Баку приходится на Сабаильский район (69%), что объясняется расположением 7 крупных международных нефтяных компаний, а также Азербайджанской Международной Операционной Компании (АМОК), представляющую ГНКАР на территории этого района. На втором месте находится Наримановский (11%), на третьем – Хатаинский район (4%).

Городские районы хоть и не специализируются по определенной отрасли промышленности (промышленный кластер), однако в каждом из них имеется доминантная отрасль. Так, основным направлением промышленности Наримановского района Баку является производство строительных материалов. В общем здесь

сосредоточено более 200 промышленных предприятий, 15 из которых крупные предприятия металлургии, строительные и пищевые предприятия. Наиболее крупным из них является ООО “Bakı Steel Company” (1248 работников). Также среди производственных предприятий этого района можно отметить «Азершина», «Бакинские бытовые машины», «Бакмил», «Электроштамп», «Азерэлектротерм» и «Бакинское электротехническое оборудование высокого напряжения». Малые и средние промышленные предприятия в основном относятся к строительной, металлургической, пищевой, мебельной, легкой отраслей промышленности. Эти предприятия включают производство пластмассовых окон и дверей, хлебопекарни, кондитерские цеха, производство прохладительных напитков и т.п.

Ясамальский район - мелкие цеха по производству ювелирных изделий и предприятия полиграфии. Здесь также функционирует около 200 предприятий, в том числе 2 предприятия Министерства Оборонной промышленности - “Алов” и “Азон”, (производство нефтебурильного оборудования, вагонов метро). Крупнейшим промышленным предприятием района является ОАО «Чистый город» (633 работников). В районе также распространены предприятия пищевой (производство хлебобулочных, макаронных изделий, вин) и металлургической (алюминиевые строительные конструкции) промышленности.

Сабунчинский район – производство строительных материалов и мебели. Здесь функционирует около 80 промышленных предприятий, 19 из которых крупные. Крупнейшими предприятиями являются ООО “Азвирт” (1500 работников) и “Балаханская Операционная Компания” (1426 работников). Крупные предприятия относятся к пищевой промышленности, производству и ремонту оборудования, добывающей, химической промышленности, производству электронных приборов, легкой промышленности, производству пластмассовых изделий, мебели.

Низаминский район долгие годы известен как промышленный район. Однако, согласно «Государственной программе о перенесении промышленных предприятий из центральной зоны столицы» большинство старых промышленных объектов было вынесено за пределы города. К ним относятся ООО «Бакинский универсальный машиностроительный завод», бетонный завод, «Кешлинский машиностроительный завод», ООО «Бакинская одежда», «Захмет-Рузи», «Нефтегазстрой» и др. Были приостановлены работы по выносу наиболее крупного промышленного объекта района - Бакинского нефтеперерабатывающего завода им. Г.Алиева, основанного в 1953 году, который функционирует до сих пор (3361 человек). На сегодняшний день здесь функционирует около 100 промышленных предприятий, из них 22 относятся к категории крупных, которые специализируются на производстве нефтепродуктов, строительных материалов, спиртных напитков, медикаментов, табачных изделий, мясных изделий, и т.д.

На территории Сураханский района функционирует более 50 промышленных предприятия, из них 15 являются крупными. Среди них предприятия, специализирующиеся на добыче сырой нефти и газа, производстве нефтебурового оборудования, ремонте электрического оборудования (от 200 до 1100 работников). Наиболее крупными предприятиями района является операционная система «Bahar Enerji», ООО «Группа компаний АТЕФ» и Операционная система «Suraxani oil». Помимо вышеназванных в Сабунчинском районе также функционируют ООО «SW Construction and Industry», ООО «Pano», и др.

Бинагадинский район – добыча нефти, производство строительных материалов (бетона, строительного камня, лакокрасочных материалов, известкового камня и т.д.) и продуктов питания (хлеба, молока, мороженого, муки, сладостей, варенья). Из более 100 функционирующих на территории Бинагадинского района промышленных предприятия 16 являются крупными. Наиболее крупные из них ООО “Coca-cola” Botlers

Limited, MMM “Mars Overseas Baku LTD”, ООО “Тас” и ООО “Kristal Plus” (совместно 929 работников). Множество мелких полиграфических предприятий и мебельных цехов.

В Сабаильском районе города Баку выявлено 112 промышленных предприятий, в том числе предприятия судоремонтные, добыча нефти и газа, полиграфические работы, производство, установка и ремонт машин и оборудования, водоснабжение, обработка сточных вод, производство строительных материалов, производство продуктов питания и т.д. В этом районе 30% промышленных предприятий составляют предприятия по добычи нефти и газа [1]. Предприятия по производству строительных материалов большей частью специализированы на производстве бетона и цемента.

В Хатаинском районе 24 промышленных предприятия из 93 являются крупными. В основном промышленные объекты относятся к пищевой, металлургической, легкой, строительной, нефтяной и химической промышленности, а также полиграфии и производству мебели. Здесь расположены газовое операционное управление, Управление «Маркетинг и экономические операции», «Азеригаз». Основными предприятиями нефтяной промышленности района являются нефтеперерабатывающий завод, “Азнефтьяг”, «Бакинский завод нефтяного машиностроения», Бакинская нефтебаза, «Каспморнефтефлот». Здесь также расположены Бакинский завод «Радиогурашдырма», а также мелкие и средние предприятия по производству одежды, обуви.

В Насиминском районе города Баку наблюдается большое скопление промышленных предприятий (144 предприятий). К их числу можно отнести предприятия по производству строительных материалов (железные и пластиковые двери, бетонные изделия, асфальтовые покрытия), предприятия легкой промышленности (текстильные, швейные фабрики), машиностроительные заводы (вагоноремонтные), ювелирные цеха.

В Гарадагском районе Баку зарегистрировано 84 промышленных объекта, 26 из которых можно причислить к крупным. Здесь расположены такие крупные предприятия как нефте-газовой промышленности, как Нефте-газодобывающее управление им. Нариманова, Управление нефтепровода, Сангачалский терминал, Нефтегазодобывающее управление им. А.Амирова, Газоперерабатывающий завод, предприятие «ААС». Строительный сектор представлен “Holcim – Azərbaycan», кирпичным и мраморным заводами, «Азстройсервис», ООО «Аккорд Стройпром», ОАО «İnter Glass», Гарадагским комбинатом строительных материалов, Гарадагским известковым заводом и др. К предприятиям металлургической промышленности района можно отнести Завод глубоководных оснований им. Г.Алиева, Гарадагский завод металлических конструкций, «Эл-метал». Среди крупных предприятий района можно отметить 3 завода химической промышленности: “Metanol CO”, “Pakan” и гальванический завод “Азстройсервис”.

В Хазарском районе города Баку из 52 промышленных предприятий 15 являются крупными. Имеются предприятия нефтяной промышленности - Дюбендинский нефтяной терминал, Абшеронский нефтьморфлот, Нефтепогрузочная база, НПО «Иглим», а также Машиностроительный завод в Гала, Бакинский завод по переработке цветного металла, Бакинской завод Gök-Nur-Kabel, завод “NB Group”, Северная электрическая станция, швейная фабрика №2, Шувяланская кондитерская фабрика, Бакинская макаронная фабрика, хлебзаводы, Бакинский завод электрических автоматов, ОАО “Yoltexnika”, Завод Электромаш и др.

Наиболее меньшее количество промышленных предприятий сосредоточено в Пираллахинском районе Баку. Здесь функционирует всего 6 промышленных объектов, из них 3 относятся к категории крупных. Из них только 1 расположен на территории собственно города Баку – это Нефте-газодобывающее управление «Абшероннефть», которое занимается добычей нефти и газа и обеспечивает работой 1500 человек.

Помимо городов Сумгаит и Баку Абшеронский район считается одним из самых крупных промышленных районов Азербайджана. На территории района расположено 122 промышленных предприятия. На самом крупном по числу работников предприятии Абшеронского района ООО «Азбетонит» их количество достигает 589 человек.

Район специализируется на производстве строительных материалов (кирпича, известкового камня, бетонита, гипса), продуктов питания (муки, колбасных изделий, сахара и сахарного песка, напитков, рыбных изделий), мебели, и др. На территории Абшеронского района также множество малых цехов по производству хлеба, сладостей и т.п. В общем промышленные предприятия Абшеронского района обеспечивают работой около 6530 человек.

Согласно "Плану регионального развития Большого Баку", который включает территорию Баку, Сумгайыта, Хырдалана, а также всего Абшерона, промышленные предприятия, находящиеся в центре Баку и занимающие территорию от "Черного города" до поселка Дарнагюль, планируется перенести в Гарадагский район, где уже формируются промышленная зона.

Выводы:

Таким образом, исследование современного состояния промышленных предприятий Абшерона позволяет сделать вывод, что основные промышленные предприятия сконцентрированы на территории городов Баку и Сумгаита. Большинство промышленных предприятий этих городов в значительной мере морально и физически изношены, что делает невозможным их реконструкцию. В настоящее время они либо функционируют не по профилю, либо частично или полностью прекратили свою деятельность. Большая часть крупных промышленных предприятий осталась в наследство от советского прошлого и требуют больших капитальных вложений для реконструкции. Морально и физически устаревшие и не соответствующие современным требованиям промышленные предприятия Сумгаита и Баку целесообразно ликвидировать или перенести в специально созданные промышленные узлы. Высвободившиеся территории могут служить для градостроительных целей.

Очевидно, что вынос промышленных предприятий Баку, непосредственно связанных с добычей нефти и газа представляет большую сложность, тогда как большая часть промышленных предприятий по производству строительных материалов, мебели, одежды и обуви, химической и металлургической промышленности Баку и Сумгаита могут быть перенесены за пределы города в Абшеронский промышленный узел, а некоторые из них и в регионы.

Литература

1. Bakı şəhərinin Ərazidən İstifadə və Zonalaşdırma Planı - Baş planı. İzahat yazısı, Cild 2. Bakı Dövlət Layihə İnstitutu, Bakı, 2016, 460 s.
2. Sumqayıt şəhərinin planlaşdırma layihəsi. İzahat hissəsi. "Azərdövlətlayihə". DBLI, Bakı, 2011.
3. Нагиев Н. Г. Современное градостроительство Азербайджанской Республики. Təhsil işçisi mətbəsi MMC, 2011, 303 с.
4. Проект планировки г.Сумгаит. Пояснительная записка. ГГПИ «Азгоспроект», мастерская №3, Заказ №5063, Баку, 1965.
5. Проект планировки г.Сумгаит. Пояснительная записка. ГГПИ «Азгоспроект», мастерская №3, Заказ №5063, Баку, 1978.
6. Эфендизаде Р.М. Архитектура Советского Азербайджана. М, Стройиздат, 1986.