

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

«М.Х. ДУЛАТИ атындағы
ТАРАЗ МЕМЛЕКЕТТІК УНИВЕРСИТЕТІ»
ШЖҚ РМК



МЕХАНИКА ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

ISSN 2308-9865

Ғылыми журнал
1994 жылдың қаңтарынан бастап шығады
Жылына төрт рет шығады

№ 4 (42)
Қазан-желтоқсан
2013 ж.

Бас редактор И.И. Бекбасаров

Бас редактордың орынбасары Д.К. Джакияев

Редакция алқасы: Н.А. Абиев, К.И. Баданов, И.И. Бекбасаров,
Ю.Л. Винников, Т.П. Герасимович, Н.А. Горбатовская,
Д.К. Джакияев, М.М. Мукумов, М.И. Никитенко, С.К. Нурпеисов,
Х.Р. Садиева, А.Н. Семернин, Н.А. Смирнова, А.Н. Шевцов,
А.Г. Шлейкин, Я. Шульц

Корректор және компьютерлік беттеу Е.И. Атенов

Редакция мекен-жайы:

080012, Тараз қаласы, Төле би көшесі, 60.

Тел.: 8 7262 45-35-10, факс: 8 7262 43-24-02.

<http://www.tarsu.kz> E-mail: bekbasarov.isabai@mail.ru

Тіркеу куәлігі №1193 (23.11.1993), №560-Ж (4.02.1999), №4244-Ж
(08.10.2003), №13521-Ж (15.04.2013)

Басуға қол қойылған күн 27.12.2013. Форматы 70x180/16. Шартты баспа
табағы 13,4. Тираж 300 дана. Тапсырыс 1092.

М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университетінің «Тараз
университеті» баспасы. 080012, Тараз қаласы, Төле би көшесі, 60.

© М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, 2013

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

РГП на ПХВ
«ТАРАЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени М.Х. ДУЛАТИ»



МЕХАНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

ISSN 2308-9865

Научный журнал
Издается с января 1994 года
Выходит четыре раза в год

№ 4 (42)
Октябрь-декабрь
2013 г.

Главный редактор И.И. Бекбасаров

Заместитель главного редактора Д.К. Джакияев

Редакционная коллегия: Н.А. Абиев, К.И. Баданов, И.И. Бекбасаров,
Ю.Л. Винников, Т.П. Герасимович, Н.А. Горбатовская,
Д.К. Джакияев, М.М. Мукимов, М.И. Никитенко, С.К. Нурпеисов,
Х.Р. Садиева, А.Н. Семернин, Н.А. Смирнова, А.Н. Шевцов,
А.Г. Шлейкин, Я. Шульц

Корректор и компьютерная верстка Е.И. Атенов

Адрес редакции:

080012, г. Тараз, ул. Толе би, 60.

Тел.: 8 7262 45-35-10, факс: 8 7262 43-24-02.

<http://www.tarsu.kz> E-mail: bekbasarov.isabai@mail.ru

Свидетельство о регистрации №1193 (23.11.1993), №560-Ж (4.02.1999),
№4244-Ж (08.10.2003), №13521-Ж (15.04.2013)

Подписано в печать 27.12.2013. Формат 70×180/16. Усл. печ. л. 13,4. Тираж
300 экз. Заявка 1092.

Издательство «Тараз университеті» Таразского государственного
университета им. М.Х. Дулати. 080012, г. Тараз, ул. Толе би, 60.

© Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, 2013

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



TARAZ STATE UNIVERSITY
named after M.Kh. DULATI

MECHANICS & TECHNOLOGIES

ISSN 2308-9865

Scientific Journal

Published since January 1994

Published four times a year

№ 4 (42)

October-December
2013

Editor in chief I.I. Bekbasarov

Deputy Editor in Chief D.K. Jakiyaev

Editorial board: N.A. Abiev, K.I. Badanov, I.I. Bekbasarov,
T.P. Gerasimovich, N.A. Gorbatovskaya, D.K. Jakiyaev, M.M. Mukimov,
M.I. Nikitenko, S.K. Nurpeisov, Kh.R. Sadieva, J. Schulz, A.N. Semernin,
N.A. Smirnova, A.N. Shevtsov, A.G. Shleikin, Yu. L. Vinnikov

Press-corrector and computer page makeup Ye.I. Atenov

Editorial address:

080012, Taraz, Tole bi street, 60.

Tel.: 8 7262 45-35-10, fax: 8 7262 43-24-02.

<http://www.tarsu.kz> E-mail: bekbasarov.isabai@mail.ru

Registration certificate №1193 (23.11.1993), №560-Ж (4.02.1999), №4244-Ж (08.10.2003), №13521-Ж (15.04.2013)

Signed in print 27.12.2013. Form 70×180/16. Cond. print. sh. 13.4. Edition 300 copies. Application 1092.

Printing House «Taraz University» of Taraz State University
named after M.Kh. Dulati. 080012, Taraz, Tole bi street, 60.

© Taraz State University named after M.Kh. Dulati, 2013

МАЗМУНЫ / СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

Алимжанов А.М., Киябаев С.Н., Джалимбетов С.Б. Напряженно-деформированное состояние и прочность пород приконтурной зоны подземных выработок в неоднородном упругопластически деформируемом массиве горных пород	5
Алимжанов А.М., Наменгенова Ж.М., Малыбаев Р.А. Напряженно-деформированное состояние и устойчивость пород приконтурной зоны вертикальной скважины в структурно-неоднородном массиве горных пород	17
Бекбасаров И.И., Исаков Г.И. Результаты исследований погружаемости, энергоемкости и несущей способности моделей свай разной длины	30
Бекбасаров И.И., Исаков Г.И. Результаты исследований погружаемости, энергоемкости и несущей способности моделей свай с разной площадью поперечного сечения	38
Волков И.О., Каравайков В.М. Математическая модель теплопередачи через оболочку культивационного сооружения	46
Гуринова Т.А., Самуйленко Т.Д. Совершенствование технологии жидких заквасок путем культивирования их бродильной микрофлоры на оптимизированных питательных субстратах	49
Кулбаева Д.А., Байбазарова Э.А. Получение комплексного удобрения с использованием отхода фосфорного производства	58
Лучковский И.Я., Самородов А.В. Единая методика определения глубины сжимаемой толщи и осадок основания фундаментов	63
Матеева С.З., Каракойшиева Б.Б., Қантарбаева С.М., Оспанкулова К.К. Константы образования разнолигандных комплексов кобальта	78
Омаров Е.О., Джилкибаев Е.С. Движение автомобиля по неровным дорогам	83
Омаров Е.О., Имандосов А.Т., Жаманбаев Б.У., Алмаханова Э.А. Бу қозғалтқышы	89
Омаров Е.О., Имандосов А.Т., Жаманбаев Б.У., Алмаханова Э.А. Қозғалтқыштың шығынды газдарының улағыштығын азайту жолдары	93
Пойта П.С., Шведовский П.В., Клебанюк Д.Н. Особенности геотехнических технологий устройства искусственных оснований на застраиваемых территориях со сложными инженерно-геологическими условиями	97
Рүстем Е.І., Бапанова Ж.Ж. Аса гидрофобты қаптама – полифункционалдық нанокұрылымды материалдардың жаңа типтері	106
Рүстем Е.І., Тельбаева Г.Ш., Кулбаева Д.А. Агломерациялық газдар қалдықтарымен фосфордың және күкіртті тазалау	112
Хазраткулов Х.А., Мукимов М.М. Односторонний платированный плюшевый трикотаж с прочным закреплением плюшевой нити в грунте трикотажа	117
Sadieva Kh .R., Bishimbayeva G.K. The investigation of the extraction of noble metals from sulfide ores by the sulfite – bisulfate – tiosulfate solutions	122
Наш юбиляр Человек счастливой судьбы	134

УДК 539.37

А.М. Алимжанов¹, С.Н. Киябаев², С.Б. Джалимбетов³¹Д-р физ.-мат. наук, проф. ²Канд. физ.-мат. наук, доц. ³Науч. сотрудник
РГП «Институт механики и машиноведения им. акад. У.А. Джолдасбекова»
КН МОН РК, г. Алматы**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И
ПРОЧНОСТЬ ПОРОД ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЫ ПОДЗЕМНЫХ
ВЫРАБОТОК В НЕОДНОРОДНОМ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИ
ДЕФОРМИРУЕМОМ МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД**

В настоящей работе разработана модель неоднородного упругопластически деформируемого массива горных пород и найдено на ее основе напряженно-деформированного состояния (НДС) пород приконтурной зоны содержащейся в массиве подземной выработки.

Ключевые слова: напряжение, деформация, прочность, подземная выработка, массив, горные породы, упругопластическая деформация.

1. Модель неоднородного упругопластически деформируемого массива горных пород для расчета НДС пород приконтурной зоны подземных выработок

Среди широкого класса неоднородных тел определенный интерес представляют тела с осевой или центральной симметрией распределения механических характеристик материала. В настоящей работе рассматривается такой массив с неравномерным распределением как упругих, так неупругих свойств горных пород. Неоднородный упругопластически деформируемый горный массив с выработкой, подчиняется следующим предположениям:

1) Механические (прочностные (σ_s) и деформационные (E)) свойства тела являются непрерывными и дифференцируемыми функциями радиальной координаты r и параметров нагружения χ_j , устанавливающих зависимость механических свойств от граничных условий

$$\sigma_s = \sigma_s(r, \chi_j), \quad E = E(r, \chi_j). \quad (1)$$

2) Физические свойства массива описываются двузвенной ломанной на диаграмме напряжение-деформация $\sigma_1 - \epsilon_1$ (наклонная часть соответствует линейно-упругому состоянию, а горизонтальная часть – идеально-пластическому), причем эта диаграмма (согласно положению 1)) в процессе нагружения и развития неупругой зоны непрерывно изменяет свое положение. Условие пластичности f (изотермическое и квазистатическое нагружение) и ассоциированный закон пластического деформирования имеют вид

$$f(\sigma_{ij}, \sigma_s(r, \chi_j)) = 0, \quad \epsilon_{ij} = g \frac{\partial U}{\partial \sigma_{ij}} \quad (2)$$

а закон Гука в упругой области записывается в виде

$$\epsilon_{ij}^e = E(r, \chi_j)^{-1} ((1 + \mu)\sigma_{ij} - \mu\delta_{ij}\sigma_{kk}) \quad (3)$$

Здесь σ_{ij} , ε_{ij} – компоненты тензоров напряжений и деформаций; $U(\sigma_{ij})$ – пластический потенциал, в качестве которого принимается функция f ; g – некоторый множитель; E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона; δ_{ij} – символ Кронекера.

3) Имеют место уравнения равновесия и совместности деформаций (здесь u_i – компоненты вектора перемещений)

$$\sigma_{ij,j} = 0, \quad \varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right]. \quad (4)$$

4) Прочностные (σ_s) и деформационные (E) свойства массива распределены прямо или почти прямо пропорционально, в каждой точке имеют место соотношения

$$\sigma_s(r, \chi_j) = cN(r, \chi_j)E(r, \chi_j). \quad (5)$$

Здесь c – некоторая константа материала; $N(r, \chi_j)$ – близкая к единице функция «отклонения». Согласно (5) диаграмма $\sigma_1 - \varepsilon_1$ изменяется в направлении, близком к вертикальному. Из (5) следует, что любое положение диаграммы $\sigma_1 - \varepsilon_1$ определяется различными значениями предельного напряжения σ_* , но некоторым фиксированным значением предельной упругой деформации ε_* .

1) предположение позволяет решать задачу аналитическими методами; 2) – 3) предположения – моделируют неоднородный упругопластически деформируемый горный массив с помощью статических, геометрических и физических уравнений; 4) предположение выделяет негомогенные тела (прямо пропорциональное распределение) и исключает из рассмотрения гетерогенные тела (непропорциональное распределение) как системы с внутренними напряжениями.

2. Упругопластическая задача для неоднородного горного массива с цилиндрической или сферической выработкой

Задача решается в безразмерных полярных r, θ или сферических координатах r, θ, ψ , где радиальная координата r отнесена к радиусу выработки, т.е. радиус выработки $r = 1$. Массив горных пород с выработкой моделируется невесомым пространством, имеющим цилиндрическую или сферическую емкость; при этом на бесконечности действуют сжимающие гидростатические усилия P , а по контуру выработки действует равномерное давление отпора крепи или содержащегося газа P_0 (рис. 1).

Тогда граничные условия записываются следующим образом:

$$\sigma_r = P_0 \text{ при } r = 1, \quad (6)$$

$$\sigma_r = \sigma_\theta = P \text{ при } r \rightarrow \infty \quad (7)$$

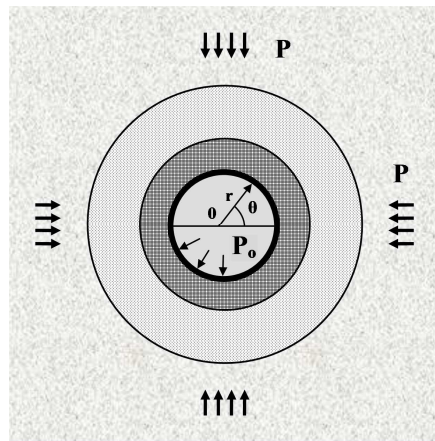


Рис.1. Расчетная схема к определению НДС пород приконтурной зоны подземной выработки в условиях неоднородного горного массива

Действующие нагрузки таковы, что вокруг выработки образуется полностью охватывающая ее зона неупругих деформаций (ЗНД) радиуса r_0 . Область упругих деформаций имеет две зоны: непосредственно примыкающая к ЗНД зона неоднородности радиуса r_1 и охватывающая её однородная упругая область. В неоднородной зоне модуль упругости изменяется радиально $E = E(r)$, а в однородной области модуль упругости имеет постоянное значение $E = E_1 = \text{const}$. Согласно рисунку 1, неоднородность локальна и сосредоточена вокруг контура выработки.

На границах раздела зон имеют место условия сопряжения радиальных компонент напряжений и перемещений (большие квадратные скобки означают скачок указанной величины на переходе через границы раздела зон):

$$[\sigma_r] = [u_r] = 0 \quad \text{при} \quad r = r_0, r = r_1 \quad (8)$$

Нахождение напряженного состояния вокруг подземной выработки

Введем функцию напряжений $F(r)$. Компоненты напряжений могут быть определены следующим образом соответственно при плоском осесимметричном и центральносимметричном деформированном состоянии:

$$\sigma_r = r^{-1}F, \quad \sigma_\theta = F' \quad \text{и} \quad \sigma_r = r^{-2}F, \quad \sigma_\psi = \sigma_\theta = (2r)^{-1}F' \quad (9)$$

Сначала рассмотрим упруго-неоднородную зону с характеристикой $E = E(r)$.

Основное уравнение относительно функции F при плоском осесимметричном деформированном состоянии имеет вид ($\lambda = \mu/(1 - \mu)$, μ - коэффициент Пуассона)

$$E(r)r^2F'' + ((2 - s)E(r) - E'(r)r)rF' - s(E(r) - \lambda E'(r)r)F = 0 \quad (10)$$

Здесь параметр s характеризует вид деформированного состояния. Значению $s = 1$ отвечает плоское осесимметричное состояние, а значению $s = 1$ - центральносимметричное.

В случае $\lambda = 1$ ($\mu = 0.5$), т.е. при отсутствии объемной деформации массива получим решение уравнения (10) в квадратурах:

$$F = C_1 r^s \int E(r) r^{-s-2} dr + C_2 r^s \quad (11)$$

При $\lambda < 1$ ($\nu < 0.5$) получить общее решение вида (11) не представляется возможным и в этом случае необходимо рассматривать конкретный вид функции $E(r)$.

Рассмотрим немонотонное распределение механических свойств пород приконтурной зоны. Такое распределение с одной точкой максимума возникает, например, при создании подземных выработок способом камуфлетного взрыва, оно характерно для нефтегазовых скважин, имеющих кольматационный экран.

Данное распределение образует локальную неоднородность, сосредоточенную вокруг выработки и может быть описано локальной немонотонной функцией $E(r)$ вида :

$$E(r) = E(r_0) \left(\frac{r}{r_0} \right)^m \exp(a(r^n - r_0^n)) \quad (12)$$

Эта функция имеет два параметра нелинейности m и n и граничную постоянную a , определяемую условием $E(r_1) = E_1$ при $r_0 = 1$.

На рисунке 2 показаны ее возможности при описании различных кривых $E(r)$ в зависимости от m и n . Согласно рисунку, знак функции $E(r)$ может меняться по радиусу r .

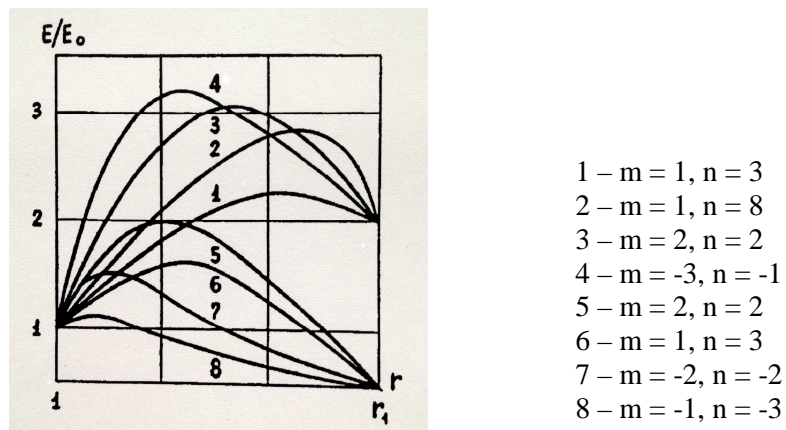


Рис. 2. Возможности локальной функции $E(r)$ вида (12) при учете неоднородности упругих свойств пород приконтурной зоны

Нами получен класс точных аналитических решений уравнения (10) при $\lambda \leq 1$ для локальных немонотонных функций $E(r)$ вида (12).

Точное решение уравнения (10) для функций (12) выражается через гипергеометрические функции Куммера ${}_1F_1 = N(\alpha, \beta, \xi)$ [1]

$$F = C_1 r^{nk} N(\alpha, \beta, ar^n) + C_2 r^{m-nk+s-1} N(\alpha - \beta + 1, 2 - \beta, ar^n) \quad (13)$$

где: $\alpha = n^{-1}(nk - s\lambda)$, $\beta = 2k + 1 - (m + s - 1)n^{-1}$, k – действительный корень квадратного уравнения $n^2 k^2 - (m + s - 1)nk + s(\lambda m - 1) = 0$.

Функция ${}_1\Phi_1 = N(\alpha, \beta, \xi)$ может быть представлена с помощью ряда Куммера, сходящегося при всех знаменаниях аргумента:

$${}_1\Phi_1 = N(\alpha, \beta, \xi) = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(\alpha)_j}{(\beta)_j} \cdot \frac{\xi^j}{j!}, \quad (\alpha)_j \equiv \alpha(\alpha + 1)\dots(\alpha + j - 1) \quad (14)$$

Поскольку величина r всегда положительна, область сходимости решения распространяется на всю действительную ось значений аргумента.

На основании (3), (9), (13) компоненты НДС в упругой немонотонно-неоднородной зоне запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma_{(r)} &= C_1 r^{nk-s} N_1(r) + C_2 r^{m-nk-1} N_2(r), \\ \sigma_{(\theta)} &= C_1 r^{nk-s} \left(\lambda N_1(r) + \frac{nk-s\lambda}{s} N_3(r) \right) + C_2 r^{m-nk-1} \left(\lambda N_2(r) + \frac{m-nk-s\lambda+s-1}{s} N_4(r) \right), \\ u_{(r)} &= \frac{(1+2\lambda)^{2-s}}{(1+\lambda)^{3-s} E(r)} \left[C_1 r^{nk-s+1} \frac{nk-s\lambda}{s} N_3(r) + C_2 r^{m-nk} \frac{m-nk-s\lambda+s-1}{s} N_4(r) \right] \end{aligned} \quad (15)$$

где: $N_1(r) = N(\alpha, \beta, ar^n)$, $N_2(r) = N(\alpha - \beta, 2 - \beta, ar^n)$,
 $N_3(r) = N(\alpha + 1, \beta, ar^n)$, $N_4(r) = N(\alpha - \beta + 2, 2 - \beta, ar^n)$.

Рассмотрим внешнюю однородную упругую область вокруг цилиндрической выработки с характеристикой $E = E_1 = \text{const}$.

Разрешающее уравнение относительно F для однородной внешней области имеет вид

$$r^2 F'' + (2 - s)rF' - sF = 0$$

откуда

$$F = C_3 r^s + C_4 r^{-1} \quad (16)$$

Компоненты НДС согласно (4), (11) примут вид

$$\sigma_{((r))} = C_3 + C_4 r^{-s-1}, \quad \sigma_{((\theta))} = C_3 - \frac{1}{s} C_4 r^{-s-1}, \quad u_{((r))} = -\frac{(1+s\lambda)(1+2\lambda)^{2-s}}{s(1+\lambda)^{3-s} E_1} C_4 r^{-s} \quad (17)$$

Здесь и далее все компоненты НДС в ЗНД обозначены квадратными скобками у индексов, в упругой неоднородной зоне – круглыми скобками у индексов, в упругой однородной зоне – двойными круглыми скобками у индексов.

Теперь рассмотрим ЗНД. Применительно к геоматериалам используем условие прочности Кулона-Мора, соответствующее уравнению прямолинейной огибающей кругов Мора. На площадке предельного сдвига оно может быть представлено в виде

$$\max\{\tau_n - (\sigma_n + H)\operatorname{tg}\varphi\} = 0, \quad (18)$$

где: σ_n , τ_n – соответственно нормальное и касательное напряжения на произвольной площадке с нормалью n ; H – параметр, характеризующий положение огибающей; φ – угол внутреннего трения (принимается постоянным).

Условие предельного состояния для материала характеризуется тем же уравнением (угол φ сохраняется), но с меньшим параметром H^* ($H^* < H$). Прямым следствием этого является разрывное поведение тангенциальных напряжений σ_θ на границе ЗНД.

Параметр H^* в неоднородном массиве связан с прочностными свойствами материала и с переменным коэффициентом сцепления $K(r)$ следующим образом:

$$K(r) = H^*(r)\operatorname{tg}\varphi = \alpha_2^{-1}\sigma_{\text{пр}}^*(r)\operatorname{tg}\varphi \quad (19)$$

Здесь $\alpha_1 = (1 + \kappa \sin\varphi)/(1 - \kappa \sin\varphi)$, $\alpha_2 = 2\kappa \sin\varphi/(1 - \kappa \sin\varphi)$, $\kappa = \pm 1$.

Условие предельного состояния согласно (19) в случае плоской осевой и центральной симметрии может быть записано одним уравнением

$$\sigma_{[\theta]} - \alpha_1 \sigma_{[r]} = \alpha_2 H^*(r) \quad (20)$$

Разрешающее уравнение для функции напряжений F в ЗНД имеет вид

$$(2s)^{1-s} F' - \alpha_1 r^{-s} F = \alpha_2 H^*(r) \quad (21)$$

решение которого имеет вид

$$F = C_5 r^{s\alpha_1} + s\alpha_2 \operatorname{ctg}\varphi r^{s\alpha_1} \int r^{-s\alpha_2-1} K(r) dr \quad (22)$$

Компоненты напряжений в ЗНД запишутся следующим образом

$$\begin{aligned} \sigma_{[r]} &= C_5 r^{s\alpha_2} + s\alpha_2 \operatorname{ctg}\varphi r^{s\alpha_2} \int r^{-s\alpha_2-1} K(r) dr, \\ \sigma_{[\theta]} &= C_5 \alpha_1 r^{s\alpha_2} + \alpha_2 \operatorname{ctg}\varphi (s\alpha_1 r^{s\alpha_2} \int r^{-s\alpha_2-1} K(r) dr + K(r)) \end{aligned} \quad (23)$$

Пластическая неоднородность в формулах (20) - (23) выраженная через $K(r)$, также как и неоднородность $E(r)$ является локальной, причем $K(r)$ изменяется в пределах $1 < r \leq r_0$. Если считать пластическую неоднородность следствием первоначальной неоднородности механических свойств целого материала, то $K(r)$ с точностью до множителей совпадает с распределением $\sigma_{\text{пр}}(r)$. Следовательно, согласно положению 4), $K(r)$ может принимать вид, аналогичный функции $E(r)$.

Отметим, что Алимжановым М.Т. была решена соответствующая упругопластическая задача, учитывающая пластическую неоднородность механических свойств материала [2].

Нахождение деформированного состояния вокруг подземной выработки.

Для определения перемещений в ЗНД помимо выбранной модели неоднородного массива необходимо привлечь дополнительные гипотезы и допущения. Ниже рассматриваются два основных подхода к определению перемещений в ЗНД: а) подход, основанный на ассоциированном законе пластического деформирования; б) подход, предложенный Христиановичем - Шемякиным [3]. Обе эти модели обобщены на случай неоднородного упругопластического массива.

Рассмотрим первую модель упругопластического тела. Используем ассоциированный закон (2). Пластический потенциал в (2) задается в виде (22):

$$U(\sigma_{ij}) = \sigma_{[\theta]} - \alpha_1 \sigma_{[r]} - \alpha_2 H^*(r) \quad (24)$$

Нетрудно убедиться из (24), что скорость диссипации механической энергии при пластическом деформировании в рассматриваемом массиве будет изменяться пропорционально прочностным свойствам $\sigma_{пр}^*(r)$.

Положим, что нагружение является активным, а деформации – малыми. Тогда из (24) будем иметь

$$\varepsilon_{[r]} + s\alpha_1 \varepsilon_{[\theta]} = \varepsilon_{(r)} + s\alpha_1 \varepsilon_{(\theta)}. \quad (25)$$

Здесь принято, что в ЗНД полные деформации равны сумме упругих и пластических.

Переходя в (24) к перемещениям, получим дифференциальное уравнение, определяющее единственное ненулевое перемещение $u_{[r]}$:

$$\frac{du_{[r]}}{dr} + s\alpha_1 \frac{u_{[r]}}{r} = \varepsilon_{(r)} + s\alpha_1 \varepsilon_{(\theta)} \quad (26)$$

Если пренебречь упругими деформациями в ЗНД, то в уравнении (24) правая часть обратится в нуль. В этом случае дилатансия [4] может оказаться значительной.

Будем считать, что для рассматриваемого тела упругие деформации во всех точках ЗНД одинаковы. Тогда решение уравнения (26) запишется в виде

$$u_{[r]} = \frac{C_6}{r^{s\alpha_1}} + (\varepsilon_{(r)} + s\alpha_1 \varepsilon_{(\theta)}) \frac{r}{s\alpha_1 + 1} \quad (27)$$

Решение (27) может быть выражено через компоненты фиксированных упругих напряжений $\sigma_{(r)}$, $\sigma_{[\theta]}$ на границе r_0 ЗНД:

$$u_{[r]} = \frac{C_6}{r^{s\alpha_1}} + \frac{(1+2\lambda)^{2-s} r}{(s\alpha_1 + 1)(1+\lambda)^{3-s} E(r_0)} \left[((1+\lambda)^{s-1} - s\lambda\alpha_1)\sigma_{(r_0)} + s(\alpha_1 - \lambda)\sigma_{(\theta)} \right] \quad (28)$$

Дальнейшее определение $u_{[r]}$ в (28) будет зависеть от формы выработки и вида неоднородности механических свойств массива.

Рассмотрим массив с цилиндрической выработкой. Пусть неоднородность вокруг выработки описывается немонотонными функциями (12), тогда перемещение $u_{[r]}$ запишется в виде

$$u_{[r]} = \frac{C_6}{r^{\alpha_1}} + \frac{(1+2\lambda)r}{(\alpha_1+1)(1+\lambda)^2 E(r_0)} \left[C_1 r_0^{nk-1} \left((1-\lambda^2) N_1(r_0) + (\alpha_1 - \lambda)(nk - \lambda) N_3(r_0) \right) + \right. \\ \left. + C_2 r_0^{m-nk-1} \left((1-\lambda^2) N_2(r_0) + (\alpha_1 - \lambda)(m - nk - \lambda) N_4(r_0) \right) \right] \quad (29)$$

Компоненты упругопластического НДС массива, локально неоднородного вокруг цилиндрической выработки, определяются при $s = 1$ следующей системой выражений: в ЗНД выражениями (23), (29); в неоднородной упругой зоне выражениями (15), в однородной упругой области выражениями (17).

Решая эту систему уравнений с учетом граничных условий (6), (7) и условий сопряжений (8), найдем постоянные $C_1 - C_6$:

$$C_1 = \frac{D_0 S_2 - (1+\lambda) P B_2}{B_1 S_2 - B_2 S_1}, \quad C_2 = \frac{D_0 S_1 - (1+\lambda) P B_1}{B_1 S_2 - B_2 S_1}, \quad C_3 = P, \\ C_4 = r_1^2 \left[\frac{(D_0 S_2 - (1+\lambda) P B_2) B_3 - (D_0 S_1 - (1+\lambda) P B_1) B_4 - P}{B_1 S_2 - B_2 S_1} \right], \quad C_5 = P_0, \\ C_6 = r_1^2 \frac{(1+2\lambda) r_0^{\alpha_1+1}}{(1+\lambda)^2 E(r_0)} \left[\frac{(D_0 S_2 - (1+\lambda) P B_2)(B_5 - S_3) - (D_0 S_1 - (1+\lambda) P B_1)(B_6 - S_4)}{B_1 S_2 - B_2 S_1} \right]$$

где

$$B_1 = r_0^{nk-1} N_1(r_0), \quad B_2 = r_0^{m-nk-1} N_2(r_0), \quad B_3 = r_1^{nk-1} N_1(r_1), \quad B_4 = r_1^{m-nk-1} N_2(r_1),$$

$$B_5 = r_0^{nk-1} (nk - \lambda) N_3(r_0), \quad B_6 = r_0^{m-nk-1} (m - nk - \lambda) N_4(r_0),$$

$$S_1 = r_1^{nk-1} \left((1+\lambda) N_1(r_1) + (nk - \lambda) N_3(r_1) \right),$$

$$S_2 = r_1^{m-nk-1} \left((1+\lambda) N_2(r_1) + (m - nk - \lambda) N_4(r_1) \right),$$

$$S_3 = r_0^{nk-1} \left(\frac{1-\lambda^2}{\alpha_1+1} N_1(r_0) + \frac{(\alpha_1 - \lambda)(nk - \lambda)}{\alpha_1+1} N_3(r_0) \right), \quad D_0 = P_0 r_0^{\alpha_2} + \alpha_2 \text{ctg} \varphi r_0^{\alpha_2} \int_1^{r_0} r^{-\alpha_1} K(r) dr,$$

$$S_4 = r_0^{m-nk-1} \left(\frac{1-\lambda^2}{\alpha_1+1} N_2(r_0) + \frac{(\alpha_1 - \lambda)(m - nk - \lambda)}{\alpha_1+1} N_4(r_0) \right)$$

Подставляя их в компоненты НДС, можно получить решение в окончательном виде.

Выражение для определения неизвестного радиуса r_0 ЗНД находится из условия прочности породы на этой границе:

$$\frac{((\lambda - \alpha_1) B_1 + B_5)(D_0 S_2 - (1+\lambda) P B_2) - ((\lambda - \alpha_1) B_2 + B_6)(D_0 S_1 - (1+\lambda) P B_1)}{B_1 S_2 - B_2 S_1} = \sigma_s(r_0) \quad (30)$$

Функция $\sigma_{np}(r_0)$ аналогична $K(r)$, но в качестве аргумента выступает величина r_0 .

Рассмотрим теперь модель упругопластического тела Христиановича-Шемякина. Система выражений (15), (17), (23), определяющая упругопластическое состояние неоднородного массива, остается в силе. Различие имеет место в деформированном состоянии в ЗНД. Определим перемещение в ЗНД.

Первые три положения модели [3] в данном случае примут следующий вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{[\theta]} - \alpha_1 \sigma_{[r]} &= \alpha_2 H^*(r), & \sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z &= \frac{E(r)}{1-2\nu} (\varepsilon_r + \varepsilon_\theta), \\ \sigma_{[z]} &= \frac{\nu E(r_0)}{(1-2\nu)(1+\nu)} (\varepsilon_{[r]} + \varepsilon_{[\theta]}) \end{aligned} \quad (31)$$

Для рассматриваемого массива второе условие (33) в неоднородной упругой зоне соблюдается при $E = E(r)$, а всюду в ЗНД только при одном фиксированном значении $E = E(r_0)$. Используя второе и третье условие (33), найдем дифференциальное уравнение для определения $u_{[r]}$:

$$\frac{du_{[r]}}{dr} + \frac{u_{[r]}}{r} = \frac{C}{1+\alpha_1} \left[C_5 r^{\alpha_2} + \alpha_2 \operatorname{ctg} \varphi r^{-\alpha_2} \int r^{-\alpha_1} K(r) dr + \frac{\alpha_2}{1+\alpha_1} \operatorname{ctg} \varphi K(r) \right] \quad (32)$$

решение которого имеет вид

$$u_{[r]} = \frac{C_6}{r} + C C_5 r^{\alpha_1} + \frac{C \operatorname{ctg} \varphi}{r} \left[(\alpha_1^2 - 1) \int r^{\alpha_1} dr \int r^{-\alpha_1} K(r) dr + \alpha_2 \int r K(r) dr \right] \quad (33)$$

где $C = (1+2\lambda)(1-\lambda)(1+\lambda)^{-2} E^{-1}(r_0)$.

Постоянные C_1, \dots, C_5 в данной задаче те же самые, а постоянная C_6 запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} C_6 &= \frac{(1+2\lambda)r_0^2}{(1+\lambda)^2 E(r_0)} \left(\frac{(D_0 S_2 - (1+\lambda)PB_2)B_5 - (D_0 S_1 - (1+\lambda)PB_1)B_6}{B_1 S_2 - B_2 S_1} \right) - \\ &- \frac{(1+2\lambda)(1-\lambda) \operatorname{ctg} \varphi}{(1+\lambda)^2 E(r_0) r_0} \left(\left(P_0 \operatorname{tg} \varphi r_0^{\alpha_1+1} + (\alpha_1^2 - 1) \int_1^{r_0} r^{\alpha_1} dr \int r^{-\alpha_1} K(r) dr + \alpha_2 \int_1^{r_0} r K(r) dr \right) \right) \end{aligned}$$

Отметим, что Алимжановым М.Т. было получено соответствующее решение для случая однородного упругопластического массива [5].

3. Численные результаты для пород приконтурной зоны цилиндрической выработки в упругопластическом неоднородном горном массиве

Согласно численным результатам наличие локальной неоднородности вокруг выработки существенно влияет на распределение компонент НДС, особенно сказывается оно на распределении тангенциальных напряжений σ_θ . Максимум σ_θ может находиться за пределами ЗНД внутри неоднородной упругой зоны, а не на границе ЗНД, как в однородном массиве. Также установлено, что область дестабилизирующего воздействия неоднородности в массиве намного превосходит пределы самой зоны неоднородности: напряжения и перемещения стабилизируются на расстоянии, примерно втрое превышающем радиус r_1 этой зоны.

Ниже в таблице 1 приведены численные результаты распределения радиуса ЗНД r_0 и перемещений пород u_r вокруг цилиндрической выработки в неоднородном массиве в зависимости от его показателей φ , σ_s , отсутствия или наличия неоднородности E_1 или $E(r)$ и от рассматриваемой модели упругопластического тела (УПТ).

Таблица 1

Распределение радиуса ЗНД r_0 и перемещений пород u_r вокруг цилиндрической выработки в зависимости от показателей φ , σ_s , E_1 или $E(r)$ и рассматриваемой модели УПТ

Исходные данные	Модель УПТ	$u_r \cdot 10^2$			
		r	1,0	1,5	2,0
$\varphi = 20^0$	r	1,0	1,5	2,0	2,5
$E = E_1$ $\sigma_s = 5\sigma_s^*$ $r_0 = 2,532$	Модель АЗП $u_{[r]} = u_r^p$	3,696	1,303	0,803	0,606
	Модель АЗП $u_{[r]} > u_r^p$	0,835	0,613	0,554	0,548
	Модель Х-Ш	1,125	0,771	0,618	0,578
$E = E_1$ $\sigma_s = 6\sigma_s^*$ $r_0 = 2,822$	Модель АЗП $u_{[r]} = u_r^p$	5,145	2,226	1,152	0,758
	Модель АЗП $u_{[r]} > u_r^p$	1,041	0,730	0,634	0,621
	Модель Х-Ш	1,397	0,949	0,745	0,636
$E = E(r)$ $\sigma_s = 5\sigma_s^*$ $r_0 = 2,924$	Модель АЗП $u_{[r]} = u_r^p$	6,121	3,018	1,212	0,848
	Модель АЗП $u_{[r]} > u_r^p$	1,228	0,925	0,786	0,712
	Модель Х-Ш	1,642	1,186	0,963	0,756
$\varphi = 20^0$	r_0	3,0	4,0	5,0	
$E = E_1$ $\sigma_s = 5\sigma_s^*$ $r_0 = 2,532$	Модель АЗП $u_{[r]} = u_r^p$	0,552	0,446	0,350	0,286
	Модель АЗП $u_{[r]} > u_r^p$	0,552	0,446	0,350	0,286
	Модель Х-Ш	0,552	0,446	0,350	0,286
$E = E_1$ $\sigma_s = 6\sigma_s^*$ $r_0 = 2,822$	Модель АЗП $u_{[r]} = u_r^p$	0,615	0,579	0,434	0,337
	Модель АЗП $u_{[r]} > u_r^p$	0,615	0,579	0,434	0,337
	Модель Х-Ш	0,615	0,579	0,434	0,337
$E = E(r)$ $\sigma_s = 5\sigma_s^*$ $r_0 = 2,924$	Модель АЗП $u_{[r]} = u_r^p$	0,649	0,622	0,466	0,362
	Модель АЗП $u_{[r]} > u_r^p$	0,649	0,622	0,466	0,362
	Модель Х-Ш	0,649	0,622	0,466	0,362

Результаты расчетов получены по формулам (29), (30) (модель УПТ на основе ассоциированного закона (АЗП)) и (30), (33) (модель УПТ Христиановича-Шемякина (Х-Ш)). Также показаны результаты расчетов по формулам (29), (30) в случае, когда полные деформации в ЗНД приравнены к пластическим. При расчетах использованы следующие данные: $P = 24,5$ МПа; $P_0 = 0,15$ МПа; $\sigma_s^1 = 24,5$ МПа; $E_1 = 9800$ МПа; $\varphi = 20^0$; $\mu = 0,3$.

В таблице 1 приведены результаты распределения перемещения u_r по радиусу r для однородного массива при различных уровнях прочности в ЗНД: при $\sigma_s = 5\sigma_s^*$ и при $\sigma_s = 6\sigma_s^*$. Как следует из таблицы, снижение уровня прочности в ЗНД приводит к общему росту перемещений вокруг полости. Вблизи границы ЗНД имеется некоторое выравнивание перемещений, так как на примыкающих к границе ЗНД участках еще велика роль упругих деформаций. Приведены результаты распределения перемещения u_r по радиусу r для массива с локальной немонотонной неоднородностью при уровне прочности $\sigma_s = 5\sigma_s^*$ в ЗНД. Радиус зоны неоднородности $r_1 = 4$, $E_1 = 5E_0$. При наличии заданной неоднородности происходит рост перемещений, причем возрастание наиболее существенно вблизи контура выработки.

Как видно из таблицы 1, перемещения u_r на основе модели АЗП несколько меньше перемещений u_r модели Х-Ш. На контуре выработки разница в значениях составляет 25-30%. При меньших углах внутреннего трения φ разница будет больше, в частности при $\varphi = 5^\circ$ разница будет составлять около 45%. Если в ЗНД полные деформации приравнять к пластическим, то перемещения u_r на основе модели АЗП будут намного больше перемещений u_r в условиях модели Х-Ш. Это связано с тем, что в модели Х-Ш при определении u_r учитывается среднее главное напряжение σ_z . Отметим, что при $r \geq r_0$ (на границе и за пределами ЗНД) величины u_r во всех случаях совпадают. Кроме того, наличие локальной неоднородности вокруг выработки приводит к росту концентрации напряжений пород приконтурной зоны и к увеличению радиуса ЗНД r_0 .

В таблице 2 приведены численные результаты зависимости радиуса ЗНД породы r_0 и перемещений контура цилиндрической выработки $u_{[1]}$ от угла внутреннего трения φ для однородного массива при различных уровнях прочности в ЗНД: при $\sigma_{np} = 5 \sigma_{np}^*$, при $\sigma_{np} = 6 \sigma_{np}^*$ и при $\sigma_{np} = \sigma_{np}^*$. Остальные исходные данные прежние.

Таблица 2

Зависимость радиуса ЗНД породы r_0 и перемещений контура цилиндрической выработки $u_{[1]}$ от показателей φ , σ_{np}

Исходные данные	Уровень прочности	Угол внутреннего трения φ породы				
		0	5°	10°	20°	30°
r_0	$\sigma_{np} = 5\sigma_{np}^*$	11,815	6,445	4,300	2,532	1,816
	$\sigma_{np} = 6\sigma_{np}^*$	19,361	8,833	5,271	2,822	1,930
	$\sigma_{np} = \sigma_{np}^*$	1,639	--	--	--	--
$u_{[1]} 10^2$	$\sigma_{np} = 5\sigma_{np}^*$	4,667	2,623	1,865	0,835	0,445
	$\sigma_{np} = 6\sigma_{np}^*$	12,312	4,792	2,594	1,041	0,471
	$\sigma_{np} = \sigma_{np}^*$	0,217	--	--	--	--

При $\sigma_{np} = \sigma_{np}^*$ отмечены значения радиуса r_0 и перемещений контура выработки $u_{[1]}$ для случая идеально-связного материала. По данным таблицы 2.2 можно судить, насколько велико влияние пластического разрыхления на величину перемещений контура выработки $u_{[1]}$ при малых углах φ . С ростом φ это влияние уменьшается и для значений $\varphi > 30^\circ$ будет незначительным. Снижение уровня прочности в ЗНД σ_{np} также существенно сказывается на величине смещений контура выработки $u_{[1]}$, особенно при малых углах φ , однако при $\varphi = 30^\circ$ разница в уровне прочности становится едва различимой. Т.о., угол внутреннего трения φ породы, также как и уровень прочности в ЗНД является одним из основных факторов формирования НДС вокруг выработки.

Заключение

Разработана механико-математическая модель неоднородного упруго-пластически деформируемого горного массива. В рамках этой модели решена плоская осесимметричная задача для круговой цилиндрической выработки с заданным классом немонотонной неоднородности механических свойств пород. Найдены все компоненты напряжений и перемещений вокруг выработки, а также неизвестный радиус ЗНД r_0 . Разработан метод расчета прочности пород приконтурной зоны рассмотренной подземной выработки и исследовано влияние параметров неоднородности массива на компоненты

НДС вокруг выработки. Показано, что наличие локальной неоднородности в массиве, уровень прочности в ЗНД и угол внутреннего трения φ оказывают значительное влияние на компоненты НДС, в том числе на радиус ЗНД r_0 и распределение перемещений u_r вокруг выработки. Вместе с тем величины r_0 и u_r будут существенно зависеть еще и от выбранной модели УПТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Люк, Ю. Специальные математические функции и их аппроксимации [Текст] / Ю. Люк. – М.: [?], 1980. – 608 с.
2. Алимжанов, М.Т. Упругопластическая задача, учитывающая неоднородность механических свойств материала [Текст] / М.Т. Алимжанов // Доклады АН СССР. – 1978. – Т.242. – №6. – С. 1281-1284.
3. Христианович, С.А. К теории идеальной пластичности [Текст] / С.А. Христианович, Е.И. Шемякин // Известия АН СССР: Механика твердого тела (МТТ), 1967. – №4. – С. 86-97.
4. Новожилов, В.В. О пластическом разрыхлении [Текст] / В.В. Новожилов // Прикл. математика и механика (ПММ). – 1965. – Т.29. – №4. – С. 681-689.
5. Алимжанов, М.Т. О напряженно-деформированном состоянии горного массива вокруг одиночной выработки [Текст] / М.Т. Алимжанов // Физико-технич. пробл. разр. полезн. ископаемых. – 1972. – №4. – С.118-121.

Материал поступил 24.12.13

A.M. Alimzhanov, S.N. Kiyabayev, S.B. Jalimbetov

STRESS-STRAIN STATE (SSS) AROUND UNDERGROUND CYLINDRICAL WORKING IN NON-UNIFORM ELASTIC-PLASTIC DEFORMABLE ROCK MASSIF

*RSE "Institute of Mechanics and Mechanical Engineering
named after acad. U.A. Dzholdasbekov" SC MES RK*

In this paper developed a model of non-homogeneous elastic deformable array of rocks and found her on the basis of the stress-strain state (SSS) the marginal zone rocks contained in the array of underground excavation.

Keywords: stress, strain, strength, winze, array, rocks, elastic-plastic deformation.

УДК 539.37

А.М. Алимжанов¹, Ж.М. Наменгенова², Р.А. Малыбаев³

¹Д-р физ.-мат. наук, проф. ²Канд. физ.-мат. наук, доц. ³Инженер
РГП «Институт механики и машиноведения им. акад. У.А. Джолдасбекова» КН
МОН РК, г. Алматы

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПОРОД ПРИКОНТУРНОЙ ЗОНЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ В СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНОМ МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД

В работе рассмотрены пространственное осесимметричное напряженно-деформированное состояние (НДС) и устойчивость упругопластического равновесия вертикальной скважины в структурно-неоднородном массиве горных пород. В качестве условия прочности использовано условие Кулона-Мора. В задаче использованы положения теории устойчивости в механике горных пород, разработанной М.Т. Алимжановым. Разработаны методы расчета прочности и управления устойчивостью вертикальной скважины в условиях пространственной осесимметричной деформации пород приствольной зоны в пределах слоя с пониженными физико-механическими характеристиками.

Ключевые слова: осесимметрия, напряженно-деформированное состояние, упругопластическое равновесие, теория устойчивости, механика горных пород.

1. НДС пород приконтурной зоны вертикальной скважины в структурно-неоднородном массиве горных пород

В данном разделе исследовано напряженно-деформированное состояние (НДС), вертикальной скважины, проводимой в структурно-неоднородном горном массиве, содержащем ослабленный слой. Задача определения НДС, прочности и устойчивости вертикальной скважины решаются в пространственной осесимметричной постановке. Устойчивость вертикальной скважины для структурно однородного массива в рассматриваемой пространственной постановке впервые исследована М.Т.Алимжановым [1]. В этой же работе [1] им исследована устойчивость вертикальной скважины в постановке плоской деформации с учетом неоднородности материала в зоне неупругих деформаций (ЗНД). Все эти задачи решены с помощью аппарата теории устойчивости в механике горных пород (ТУМГП), разработанного М.Т. Алимжановым [2, 3].

Упругий массив горных пород с вертикальной скважиной рассматривается как невесомая среда с цилиндрической полостью (рис. 1). Массив является структурно-неоднородным, на глубине h расположен пласт пластичных глин – слой с пониженной предельной прочностью пород, где наиболее вероятны осложнения при бурении. Рассматриваемая глубина h такова, что под действием заданных нагрузок вокруг скважины образуется ЗНД. В упругой области справедливы соотношения закона Гука, а в ЗНД выполняются условия пластичности Кулона-Мора и соотношения деформационной теории пластичности.

По контуру скважины приложено гидростатическое давление находящегося в ней бурового раствора $\gamma_p h$, а на бесконечности действуют

равнокомпонентные сжимающие усилия γh . Здесь γ_p – плотность бурового раствора, γ – плотность горной породы.

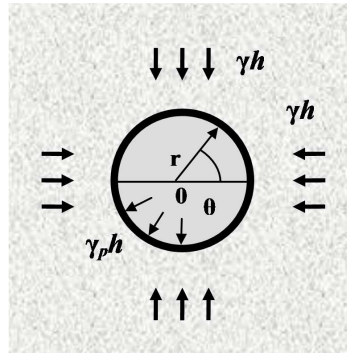


Рис. 1. Расчетная схема к определению НДС вокруг вертикальной скважины в структурно-неоднородном массиве горных пород

Используем цилиндрическую систему координат r, θ, z , ось z совместим с осью скважины радиуса $r = 1$ (все величины с размерностью длины отнесены к радиусу скважины) (см. рис. 1).

Тогда граничные условия запишутся в виде

$$\sigma_r = \gamma_p h \text{ при } r=1 \quad \text{и} \quad \sigma_r = \sigma_\theta = \gamma h \text{ при } r \rightarrow \infty \quad (1)$$

На докритических стадиях структурно-неоднородный массив пребывает в условиях плоской деформации. Рассмотрим осесимметричную упругопластическую задачу о НДС вокруг вертикальной скважины в постановке плоской деформации. В этом случае компоненты напряжений и перемещений как в упругой области, так и в ЗНД $\tau_{rz} = 0$ и $u_z = 0$.

В ЗНД справедливо условие Кулона-Мора (уравнение прямолинейной огибающей кругов Мора):

$$\max\{\tau_n - (\sigma_n + H)\text{tg}\varphi\} = 0 \quad (2)$$

где: σ_n, τ_n – соответственно нормальное и касательное напряжения; H – параметр, характеризующий положение огибающей: $H = \sigma_{сж} / \alpha_2$, где $\sigma_{сж}$ – прочность породы на одноосное сжатие; $\alpha_2 = 2\sin\varphi / (1 - \sin\varphi)$; φ – угол внутреннего трения.

Согласно работе [4], условие пластичности (2) может быть приведено к трем соотношениям, выраженным через главные напряжения $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, для осесимметричного случая (здесь принято условие $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$):

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} - \sin\varphi \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = H \sin\varphi, \quad \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} - \sin\varphi \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = H \sin\varphi, \\ \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} - \sin\varphi \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2} = H \sin\varphi \end{aligned} \quad (3)$$

При $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ справедливым является только второе из условий (3). Такое состояние соответствует случаю неполной пластичности [4]. При $\sigma_1 >$

$\sigma_2 = \sigma_3$ либо $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ выполняются соответственно первое и второе либо второе и третье условия. Такие состояния соответствуют случаю полной пластичности [4].

В цилиндрических координатах r, θ, z главные напряжения определяются следующим образом: $\sigma_1 = \sigma_\theta, \sigma_2 = \sigma_z, \sigma_3 = \sigma_r$. Очевидно, что при деформировании пород вокруг вертикальной скважины справедливым будет второе соотношение, т.к. при смещении пород к оси ствола элементы массива разгружаются от действия радиальных напряжений σ_r , поэтому мы имеем максимальные тангенциальные и вертикальные напряжения, т.е. выполняется условие $\sigma_\theta = \sigma_z > \sigma_r$.

В основном (невозмущенном) состоянии структурно-неоднородный массив пребывает в условиях плоской деформации. В этом случае равны нулю две компоненты напряжений и перемещений $\tau_{\rho z} = 0$ и $u_z = 0$, а вокруг скважины реализуется состояние неполной пластичности $\sigma_\theta > \sigma_z > \sigma_r$.

Тогда условие (2) в цилиндрических координатах r, θ, z записывается в виде (здесь $\alpha_1 = \alpha_2 + 1 = (1 + \sin \varphi) / (1 - \sin \varphi)$):

$$\sigma_{[\theta]} = \frac{1 + \sin \varphi}{2} (\sigma_{[r]} + \sigma_{[\theta]}) + H \sin \varphi \quad (4)$$

или

$$\sigma_{[\theta]} - \alpha_1 \sigma_{[r]} = \alpha_2 H \quad (5)$$

Компоненты напряжений в упругой (ненарушенной) области и в ЗНД удовлетворяют единственному уравнению равновесия в рассматриваемой постановке:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (6)$$

Согласно (5) и (6) компоненты напряжений $\sigma_{[r]}, \sigma_{[\theta]}$ в ЗНД имеют вид:

$$\sigma_{[r]} = C_1 r^{\alpha_2} - K_p \operatorname{ctg} \varphi \quad \sigma_{[\theta]} = \alpha_1 \sigma_{[r]} + \alpha_2 H \quad (7)$$

где C_1 – произвольная постоянная.

Здесь и далее компоненты напряжений с квадратными скобками у индексов относятся к ЗНД, а с круглыми скобками у индексов относятся к упругой области. K_p – приведенный коэффициент сцепления, учитывающий радиальное разупрочнение (снижение прочностных свойств) пород вокруг скважины от действия бурового раствора путем усреднения переменного коэффициента $K(r)$ в ЗНД. В связи с этим на границе ЗНД выполняется условие $K_p < K$ (K – коэффициент сцепления целого (ненарушенного) массива). В ЗНД коэффициент K связан с параметром H соотношением $H =$

Кстг ф. Отметим, что на границе ЗНД компонента $\sigma_{[\theta]}$ претерпевает разрыв по абсолютной величине.

В рассматриваемой задаче вертикальное напряжение $\sigma_{[z]}$ в ЗНД определяется исходя из положений модели упругопластического тела Христиановича-Шемякина [4]

$$\sigma_{[z]} = \frac{\sigma_{[r]} + \sigma_{[\theta]}}{2} + (\sigma_{[\theta]} - \sigma_{[r]})\Omega(\omega), \quad (8)$$

где $\Omega(\omega) = f(\varphi)$ – величина, зависящая от значений $\alpha_i(\varphi)$:

$$\Omega(\omega) = \frac{1}{4\sqrt{3}\alpha_1} \left[\sqrt{3}(\alpha_1^2 - 1) + ((\alpha_1^2 + 1)(3\alpha_2^2 + 10\alpha_2 + 10))^{0.5} \right] \cdot \left(-2 \cos \frac{\pi + \omega}{3} \right), \quad \text{В}$$

$$\omega = \arctg \frac{4\sqrt{3}\alpha_1}{9(\alpha_1 + 1)^3(\alpha_1 - 1)} (9\alpha_2^4 + 67\alpha_2^3 + 192\alpha_2^2 + 250\alpha_2 + 125)^{0.5}.$$

ЗНД справедливы соотношения деформационной теории, необходимые для определения перемещений

$$\varepsilon_{ij} = \lambda \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{ij}}, \quad (9)$$

где: $\varepsilon_{ij}, \sigma_{ij}$ – компоненты деформаций и напряжений; $\Phi(\sigma_{ij})$ – пластический потенциал, в качестве которого принимается условие (5); λ – некоторый множитель.

Компоненты перемещений в ЗНД определяются из соотношений (5) и (9), а также из известных соотношений, связывающих деформации и перемещения [2] (C_2 – произвольная постоянная):

$$u_{[r]} = C_2 r^{-\alpha_1} \quad (10)$$

На неизвестной границе ЗНД r_0 имеют место условия сопряжения радиальных компонент НДС:

$$[\sigma_r] = \sigma_{[r]} - \sigma_{(r)}, \quad [\sigma_r] = [u_r] = 0 \quad \text{при } r = r_0 \quad (11)$$

Компоненты напряжений и перемещений в области упругих деформаций, согласно соотношениям теории упругости для рассматриваемой задачи, находятся из условия, что перемещение точек массива вызвано лишь дополнительными напряжениями:

$$\sigma_{(r)} = \eta - \frac{a}{r^2}, \quad \sigma_{(\theta)} = \eta + \frac{a}{r^2}, \quad \sigma_{(z)} = \nu(\sigma_{(r)} + \sigma_{(\theta)}), \quad u_{(r)} = \frac{1}{2} a (Gr)^{-1} \quad (12)$$

где: G – модуль сдвига; ν – коэффициент Пуассона; a – произвольная постоянная.

Для определения неизвестных a , C_2 , r_0 используются условия (11), а также следующее условие отсутствия повреждений на границе ЗНД:

$$\sigma_{(\theta)} - \alpha_1 \sigma_{(r)} = \sigma_{сж} \quad (13)$$

Компоненты основного (невозмущенного) упругопластического НДС (они обозначены индексом «нулик» наверху), определяющего равновесие структурно-неоднородного массива вокруг вертикального скважины в пределах рассматриваемого слоя и уравнение для определения неизвестной границы ЗНД r_0 запишутся в виде:

$$\begin{aligned} \sigma_{[r]}^0 &= (\gamma_p h + K_p \text{ctg} \phi) r^{\alpha_2} - K_p \text{ctg} \phi, \quad \sigma_{[\theta]}^0 = \alpha_1 (\gamma_p h + K_p \text{ctg} \phi) r^{\alpha_2} - K_p \text{ctg} \phi, \\ \sigma_{[z]}^0 &= \frac{\sigma_{[r]}^0 + \sigma_{[\theta]}^0}{2} + (\sigma_{[\theta]}^0 - \sigma_{[r]}^0) \cdot \Omega(\omega), \quad \tau_{[rz]}^0 = 0, \\ u_{[\rho]}^0 &= r_0 \frac{\sin \phi}{2G} (\gamma h + K_p \text{ctg} \phi) \left(\frac{r_0}{r} \right)^2, \quad u_{[\theta]}^0 = 0, \quad r_0^{\alpha_2} = \frac{(1 - \sin \phi)(\gamma h + K \text{ctg} \phi)}{\gamma_p h + K_p \text{ctg} \phi} \\ \left. \begin{aligned} \sigma_{(r)}^0 \\ \sigma_{(\theta)}^0 \end{aligned} \right\} &= \gamma h \mp \sin \phi (\gamma h + K \text{ctg} \phi) \left(\frac{r_0}{r} \right)^2, \quad \tau_{(r\theta)}^0 = 0, \\ \sigma_{(z)}^0 &= \nu (\sigma_{(\rho)}^0 + \sigma_{(\theta)}^0) = 2\nu \gamma h, \quad u_{(r)}^0 = r \frac{\sin \phi}{2G} (\gamma h + K \text{ctg} \phi) \left(\frac{r_0}{r} \right)^2, \quad u_{(\theta)}^0 = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Вертикальное напряжение $\sigma_{[z]}$ в (14) определяется исходя из положений модели упругопластического тела Христиановича-Шемякина.

2. Устойчивость пород приконтурной зоны вертикальной скважины в структурно-неоднородном массиве горных пород

Исследуем пространственную осесимметричную устойчивость упругопластического равновесия вертикальной скважины в структурно-неоднородном массиве, содержащем слой с пониженной предельной прочностью пород. При этом используется аппарат ТУМГП [2, 3].

Определим критическое значение плотности бурового раствора γ_{p*} , при котором наряду с плоскодеформированной осесимметричной могут существовать и другие формы упругопластического равновесия. Здесь процесс проявления горного давления, сопровождающийся изменением размеров поперечного сечения скважины, связывается с пространственной осесимметричной формой потери устойчивости равновесия пород приконтурной зоны, т.е. с появлением наряду с радиальными смещениями вертикальных смещений и им соответствующих компонент напряжений (рис. 2).

При потере устойчивости порода вокруг вертикальной скважины переходит в состояние пространственного осесимметричного равновесия, когда компоненты $\tau_{\rho z} \neq 0$, $u_z \neq 0$, а решение задачи зависит от переменных r , z . Такое состояние соответствует случаю полной пластичности в главных ($\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$) либо цилиндрических ($\sigma_{\theta} = \sigma_z > \sigma_r$) напряжениях.

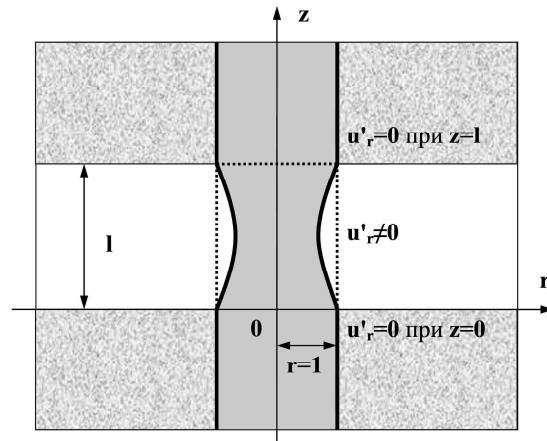


Рис. 2. Схема к расчету устойчивости вертикальной скважины в горном массиве, содержащем слой с пониженной предельной прочностью пород

Решение задачи ищется в виде $\sigma_{ij} = \sigma_{ij}^0 + \sigma'_{ij}$, $u_i = u_i^0 + u'_i$, где σ_{ij} , u_i – компоненты возмущенного состояния (после потери устойчивости), σ_{ij}^0 , u_i^0 – компоненты основного (исходного) состояния (до потери устойчивости), σ'_{ij} , u'_i – компоненты возмущений. В цилиндрических координатах r, θ, z решение задачи запишется следующим образом:

$$\sigma_r = \sigma_r^0 + \sigma'_r, \quad \sigma_\theta = \sigma_\theta^0 + \sigma'_\theta, \quad \sigma_z = \sigma_z^0 + \sigma'_z, \quad (15)$$

$$\tau_{r\theta} = \tau_{r\theta}^0 + \tau'_{r\theta}, \quad u_r = u_r^0 + u'_r, \quad u_z = u_z^0 + u'_z.$$

Для определения компонент σ'_{ij} , u'_i проводится линеаризация всех основных соотношений. Два близких равновесных состояния (до и после потери устойчивости) отличаются на величины первого порядка малости.

Уравнения равновесия в рассматриваемом случае линейны относительно компонент напряжений, поэтому они сохраняют свой вид:

$$\frac{\partial \sigma'_r}{\partial r} + \frac{\sigma'_r - \sigma'_\theta}{r} + \frac{\partial \tau'_{rz}}{\partial z} = 0; \quad \frac{\partial \sigma'_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau'_{rz}}{\partial r} + \frac{\tau'_{rz}}{r} = 0. \quad (16)$$

Определим компоненты возмущений.

Определим компоненты возмущений для напряжений и перемещений σ'_{ij} , u'_i в области упругих деформаций. Следуя работе [5], имеем компоненты возмущений в виде:

$$\begin{aligned} \sigma'_{(r)} &= 2G \left[(3-2\nu)f(r) - \left(\beta^2 r + \frac{1-2\nu}{r} \right) f(r) + \frac{1}{r} q'(r) - \beta^2 q(r) \right] \sin \beta \xi, \\ \tau'_{(rz)} &= 2G [rf'(r) - (1-2\nu)f(r) + q'(r)] \beta \cos \beta \xi, \\ u'_{(r)} &= [(3-4\nu)f(r) - rf'(r) - q'(r)] \sin \beta \xi, \\ u'_{(z)} &= [rf'(r) + q(r)] \beta \cos \beta \xi, \end{aligned} \quad (17)$$

где $f(r) = C_1 J_1(\beta r) + C_2 K_1(\beta r)$, $q(r) = D_1 J_0(\beta r) + D_2 K_0(\beta r)$.

Здесь $I_0(\beta r), I_1(\beta r), K_0(\beta r), K_1(\beta r)$ – функции Бесселя и Макдональда целого порядка, C_1, C_2, D_1, D_2 – постоянные интегрирования.

Поскольку компоненты возмущения $\sigma'_{(r)}, \tau'_{(rz)}, U'_{(r)}$ и $U'_{(z)}$ должны стремиться к нулю на бесконечности, то в соотношениях (17) следует положить $C_1 = D_1 = 0$.

Тогда компоненты возмущений для напряжений и перемещений σ'_{ij}, u'_i в области упругих деформаций окончательно примут вид

$$\begin{aligned} \sigma'_{(r)} &= 2G \left\{ C_2 \left[- (3 - 2\nu) \beta K_0(\beta r) - \left(\frac{4(1-\nu)}{r} + \beta^2 r \right) K_1(\beta r) \right] + \right. \\ &\quad \left. + D_2 \left[- \beta^2 K_0(\beta r) - \frac{\beta}{r} K_1(\beta r) \right] \right\} \sin \beta \xi, \\ \tau'_{(rz)} &= 2G \{ C_2 [- \beta r K_0(\beta r) - 2(1-\nu) K_1(\beta r)] - D_2 [\beta K_1(\beta r)] \} \beta \cos \beta \xi, \\ u'_{(r)} &= \{ C_2 [\beta r K_0(\beta r) + 4(1-\nu) K_1(\beta r)] + D_2 \beta K_1(\beta r) \} \sin \beta \xi, \\ u'_{(z)} &= \{ C_2 r K_1(\beta r) + D_2 K_0(\beta r) \} \beta \cos \beta \xi. \end{aligned} \quad (18)$$

Определим компоненты возмущений для напряжений и перемещений σ'_{ij}, u'_i в ЗНД.

Условие прочности (3) в главных напряжениях примет вид

$$\sigma_1 - \sigma_3 - \sin \phi (\sigma_1 + \sigma_3) = 2H \sin \phi, \quad \sigma_1 = \sigma_2 \quad (19)$$

Переходя к цилиндрическим координатам r, θ, z , получим соотношения, эквивалентные условию (19):

$$\begin{aligned} (\sigma_z - \sigma_r)^2 + 4\tau_{rz}^2 &= \sin^2 \phi (\sigma_r + \sigma_z + 2H)^2, \\ \sigma_\theta &= \frac{1 \pm \sin \phi}{2} (\sigma_r + \sigma_z) \pm H \sin \phi. \end{aligned} \quad (20)$$

Линеаризация условий прочности (20) дает

$$\sigma'_\theta = \sigma'_z, \quad \sigma'_z = \alpha_1 \sigma'_r \quad (21)$$

Компоненты возмущений напряжений σ'_{ij} в ЗНД на основе (16) и (21) принимают вид:

$$\begin{aligned} \sigma'_{[r]} &= [A_1 J_0(\beta r \sqrt{\alpha_1}) + A_2 N_0(\beta r \sqrt{\alpha_1})] \beta \sin \beta \xi, \\ \sigma'_{[\theta]} &= \sigma'_{[z]}, \quad \sigma'_{[z]} = \alpha_1 \sigma'_{[r]}, \\ \tau'_{[rz]} &= -[A_1 J_1(\beta r \sqrt{\alpha_1}) + A_2 N_1(\beta r \sqrt{\alpha_1})] \beta \sqrt{\alpha_1} \cos \beta \xi \end{aligned} \quad (22)$$

где $J_0(\beta r \sqrt{\alpha_1})$, $N_0(\beta r \sqrt{\alpha_1})$, $J_1(\beta r \sqrt{\alpha_1})$, $N_1(\beta r \sqrt{\alpha_1})$ – цилиндрические функции Бесселя и Неймана целого порядка, β – показатель выпучивания, A_1 , A_2 – постоянные интегрирования.

Компоненты возмущений для перемещений в ЗНД $u'_{[r]}$ и $u'_{[z]}$ определяются из условия пластичности Кулона-Мора (5) и соотношений деформационной теории (9) с учетом того, что в ЗНД полные деформации приравниваются к пластическим. Тогда имеем систему дифференциальных уравнений относительно двух компонент перемещений u_r и u_z :

$$\frac{\partial u_r}{\partial r} + \alpha_1 \frac{u_r}{r} + \alpha_1 \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0, \quad \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} - \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \tau_{rz} - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) (\sigma_r - \sigma_z) = 0 \quad (23)$$

Линеаризируя (23), получим два дифференциальных уравнения для определения u'_r и u'_z

$$\frac{\partial u'_r}{\partial r} + \alpha_1 \frac{u'_r}{r} + \alpha_1 \frac{\partial u'_z}{\partial z} = 0, \quad \left(\frac{\partial u'_r}{\partial r} - \frac{\partial u'_z}{\partial z} \right) \tau'_{rz} - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u'_r}{\partial z} + \frac{\partial u'_z}{\partial r} \right) (\sigma_r^0 - \sigma_z^0) = 0 \quad (24)$$

Из (24) найдем компоненты возмущений u'_i в ЗНД:

$$u'_{[r]} = \alpha_1 r^{\alpha_0 - 1} \{ B_1 J_{\alpha_0}(\beta_0 r) + B_2 N_{\alpha_0}(\beta_0 r) - \frac{\pi \alpha_1 r_0^{2\alpha_1}}{4G \left(\Omega(\omega) + \frac{1}{2} \right)} [A_1 T_1(r) + A_2 T_2(r)] \} \beta \sin \beta \xi, \quad (25)$$

$$u'_{[z]} = r^{\alpha_0 - 1} \{ B_1 J_{\alpha_0 - 1}(\beta_0 r) + B_2 N_{\alpha_0 - 1}(\beta_0 r) - \frac{\pi \alpha_1 r_0^{2\alpha_1}}{4G \left(\Omega(\omega) + \frac{1}{2} \right)} [A_1 T_3(r) + A_2 T_4(r)] \} \beta_0 \sin \beta \xi$$

Здесь $J_{\alpha_0}(\beta_0 r)$, $N_{\alpha_0}(\beta_0 r)$, $J_{\alpha_0 - 1}(\beta_0 r)$, $N_{\alpha_0 - 1}(\beta_0 r)$ – цилиндрические функции Бесселя и Неймана дробного порядка, $\alpha_0 = \frac{1}{2}(\alpha_1 + 1)$, $\beta_0 = \beta \sqrt{\alpha_1}$, B_1 , B_2 – постоянные интегрирования,

$$T_1(r) = N_{\alpha_0}(\beta_0 r) \int_1^r J_{\alpha_0}(\beta_0 t) J_1(\beta_0 t) t^{4-5\alpha_0} dt - J_{\alpha_0}(\beta_0 r) \int_1^r N_{\alpha_0}(\beta_0 t) J_1(\beta_0 t) t^{4-5\alpha_0} dt,$$

$$T_2(r) = N_{\alpha_0}(\beta_0 r) \int_1^r J_{\alpha_0}(\beta_0 t) N_1(\beta_0 t) t^{4-5\alpha_0} dt - J_{\alpha_0}(\beta_0 r) \int_1^r N_{\alpha_0}(\beta_0 t) N_1(\beta_0 t) t^{4-5\alpha_0} dt,$$

$$T_3(r) = N_{\alpha_0 - 1}(\beta_0 r) \int_1^r J_{\alpha_0}(\beta_0 t) J_1(\beta_0 t) t^{4-5\alpha_0} dt - J_{\alpha_0 - 1}(\beta_0 r) \int_1^r N_{\alpha_0}(\beta_0 t) J_1(\beta_0 t) t^{4-5\alpha_0} dt,$$

$$T_4(r) = N_{\alpha_0 - 1}(\beta_0 r) \int_1^r J_{\alpha_0}(\beta_0 t) N_1(\beta_0 t) t^{4-5\alpha_0} dt - J_{\alpha_0 - 1}(\beta_0 r) \int_1^r N_{\alpha_0}(\beta_0 t) N_1(\beta_0 t) t^{4-5\alpha_0} dt$$

Если порода приствольной зоны удовлетворяет условию несжимаемости, то в выражении (25) функции Бесселя и Неймана являются функциями первого порядка - $J_1(\beta r)$ и $N_1(\beta r)$.

Представим деформированную поверхность вертикальной скважины в пределах рассматриваемого слоя поверхностью вращения с образующей ($r = r / R_0$, $\xi = z / R_0$, R_0 – радиус ствола)

$$r = 1 + u'_{[r]}(1, \xi) = 1 + a\beta \sin \beta \xi, \quad a = const. \quad (26)$$

Согласно (26), линеаризированные граничные условия запишутся в виде:

$$\sigma'_{[r]} + \frac{d\sigma^0_{[r]}}{dr} u'_{[r]} = 0, \quad \tau'_{[rz]} - \sigma^0_{[z]} \frac{\partial u'_{[r]}}{\partial \xi} = 0 \quad \text{при } r = 1 \quad (27)$$

При потере устойчивости условия сопряжения напряжений и перемещений на границе ЗНД имеют вид:

$$[\sigma_r] = [\sigma_\theta] = [\sigma_z] = [\tau_{rz}] = 0, \quad [u_r] = [u_z] = 0. \quad (28)$$

Так как уравнение границы ЗНД имеет вид $r_s = r_0 + \delta r_1$, то линеаризованные условия сопряжения (28) запишутся в виде:

$$\left[\sigma'_{ij} + \frac{d\sigma^0_{ij}}{dr} r_1 \right] = 0, \quad [u'_r] = [u'_z] = 0 \quad \text{при } r = r_0 \quad (29)$$

Подставляя (18), (22), (25) в условия (27) и (29) на границе ЗНД $r_0 = r_*$, получим систему линейных алгебраических уравнений относительно $A_1, A_2, B_1, B_2, C_2, D_2$, которая при потере устойчивости ствола скважины имеет нетривиальное решение. Приравняв определитель этой системы нулю, получим уравнение для определения безразмерного критического радиуса ЗНД r_* :

$$|a_{ij}| = 0 \quad (30)$$

Уравнение (30) представляет собой определитель шестого порядка, который в случае нетривиального решения записывается в виде трансцендентного уравнения относительно радиуса r_* .

Выпишем выражения элементов определителя:

$$a_{11} = \beta J_0(\beta_\alpha), \quad a_{12} = \beta N_0(\beta_\alpha), \quad a_{13} = 2\alpha_1 \sin \varphi (\gamma h + Kctg \varphi) r_*^{-\alpha_2} J_{\alpha_0}(\beta_\alpha),$$

$$a_{14} = 2\alpha_1 \sin \varphi (\gamma h + Kctg \varphi) r_*^{-\alpha_2} N_{\alpha_0}(\beta_\alpha), \quad a_{15} = a_{16} = 0,$$

$$a_{21} = -\beta_\alpha J_1(\beta_\alpha), \quad a_{22} = -\beta_1 N_\alpha(\beta_\alpha),$$

$$a_{23} = [(\gamma h + Kctg \varphi) r_*^{-\alpha_2} - K_p ctg \varphi] \sqrt{\alpha_1} \beta J_{\alpha_0}(\beta_\alpha),$$

$$a_{24} = [(\gamma h + Kctg \varphi) r_*^{-\alpha_2} - K_p ctg \varphi] \sqrt{\alpha_1} \beta N_{\alpha_0}(\beta_\alpha), \quad a_{25} = a_{26} = 0$$

$$a_{31} = \beta J_0(\beta_\alpha r_*), \quad a_{32} = \beta N_0(\beta_\alpha r_*), \quad a_{33} = a_{34} = 0,$$

$$a_{35} = -2G[(3-2\nu)\beta K_0(\beta r_*) + (4(1-\nu)r_*^{-1} + \beta^2 r_*)K_1(\beta r_*)]$$

$$\begin{aligned}
a_{36} &= -2G[\beta r_*^{-1} K_1(\beta r_*) + \beta^2 K_0(\beta r_*)], \\
a_{41} &= -\beta_\alpha J_1(\beta_\alpha r_*), \quad a_{42} = -\beta_\alpha N_1(\beta_\alpha r_*), \quad a_{43} = a_{44} = 0, \\
a_{45} &= -2G\sqrt{\alpha_1}[2(1-\nu)K_1(\beta r_*) + \beta r_* K_0(\beta r_*)], \quad a_{46} = -2G\sqrt{\alpha_1}\beta K_1(\beta r_*), \\
a_{51} &= -\frac{\pi\alpha_1^2 \beta r_*^{5\alpha_0-3}}{4G(\Omega(\omega)+0,5)} T_1(r_*), \quad a_{52} = -\frac{\pi\alpha_1^2 \beta r_*^{5\alpha_0-3}}{4G(\Omega(\omega)+0,5)} T_2(r_*), \\
a_{53} &= \alpha_1 \beta r_*^{\alpha_0-1} J_{\alpha_0}(\beta_\alpha r_*), \quad a_{54} = \alpha_1 \beta r_*^{\alpha_0-1} N_{\alpha_0}(\beta_\alpha r_*), \\
a_{55} &= \beta r_* K_0(\beta r_*) + 4(1-\nu)K_1(\beta r_*), \quad a_{56} = \beta K_1(\beta r_*), \\
a_{61} &= -\frac{\pi\alpha_1 \beta_\alpha r_*^{5\alpha_0-3}}{4G(\Omega(\omega)+0,5)} T_3(r_*), \quad a_{62} = -\frac{\pi\alpha_1 \beta_\alpha r_*^{5\alpha_0-3}}{4G(\Omega(\omega)+0,5)} T_4(r_*), \\
a_{63} &= \beta_\alpha r_*^{\alpha_0-1} J_{\alpha_0-1}(\beta_\alpha r_*), \quad a_{64} = \beta_\alpha r_*^{\alpha_0-1} N_{\alpha_0-1}(\beta_\alpha r_*), \\
a_{65} &= -r_* K_1(\beta r_*), \quad a_{66} = -K_0(\beta r_*).
\end{aligned}$$

Здесь элементы определителя (30) содержат приведенный коэффициент сцепления K_p , учитывающий разупрочнение пород приконтурной зоны скважины от действия бурового раствора.

Искомый критический радиус r_* представляет собой наибольший радиус ЗНД, при котором вертикальная скважина сохраняет пространственную осесимметричную устойчивость.

Критическому радиусу r_* соответствуют критическая (минимально допустимая) плотность бурового раствора γ_{p*} и критическое (наибольшее) смещение контура скважины u_* :

$$\gamma_{p*} = \frac{2(\gamma h + K \text{ctg} \phi)}{(1 + \alpha_1) h r_*^{\alpha_1}} - K_p \text{ctg} \phi, \quad u_* = \frac{\sin \phi}{2G} \left(\gamma h + \frac{\sigma_{сж}}{\alpha_2} \right) r_*^{\alpha_1+1} \quad (31)$$

Все три величины – r_* , γ_{p*} , u_* являются оптимальными параметрами пространственной осесимметричной устойчивости вертикальной скважины, проведенной в массиве через ослабленный слой.

Согласно (30) r_* есть функция показателя выпучивания β : $r_* = r_*(\beta)$. Ранее при исследовании устойчивости вертикального ствола показатель β определялся исходя из минимума функции r_* (наименьшего корня $r_* > 1$) в пределах всего ствола [1, 2]. В данном случае показатель находится из дополнительных граничных условий, которые задаются на верхней и нижней границе ослабленного слоя:

$$\begin{cases} u'_{[r]} = 0 & \text{при } z = 1 \\ u'_{[r]} = 0 & \text{при } z = 0 \end{cases} \quad (32)$$

Показатель выпучивания β определяется из (32) по формуле:

$$\beta = \frac{1}{l} n\pi R_0, \quad n \in Z \quad (33)$$

Показатель β в (33) зависит от двух параметров – толщины ослабленного слоя l и параметра волнообразования n (количества полуволн синусоиды), т.е. $\beta = \beta_{ln} = \beta(l, n)$. Наиболее вероятна форма выпучивания в виде синусоиды с одной полуволной ($n = 1$), представляющая наибольший практический интерес:

$$\beta_{l1} = \beta(l, 1) = \pi \frac{R_0}{l}, \quad u'_{[r]} = a\beta_{l1} \sin \pi \frac{z}{l}. \quad (34)$$

3. Численный расчет пространственной осесимметричной устойчивости вертикальной скважины, проходящей через слой с пониженной предельной прочностью пород

Значения параметров устойчивости вертикальной скважины Γ_* , γ_{p*} , u_* в зависимости от глубины залегания ослабленного слоя h и физико-механических характеристик породы рассматриваемого слоя – модуля упругости E и предела прочности породы на сжатие $\sigma_{сж}$ приведены в таблицах 1 и 2. Результаты получены по формулам (30) – (31). При этом использованы следующие данные: радиус скважины $r = 1$; толщина слоя $l = 2$; приведенный коэффициент сцепления $K_p = 12$ МПа; $\gamma = 2,5$ т/м³; $\nu = 0,3$; $\varphi = 30^0$.

Согласно данным таблицы 1, механические характеристики пород ослабленного слоя E и $\sigma_{сж}$ существенно влияют на параметры устойчивости скважины. Меньшим показателям E соответствуют меньшие значения критического радиуса ЗНД Γ_* и бо́льшие значения критических параметров γ_{p*} и u_* . Меньшим показателям $\sigma_{сж}$ соответствуют бо́льшие значения параметров Γ_* , γ_{p*} и меньшие значения радиального смещения контура скважины u_* . С ростом глубины залегания ослабленного слоя h радиус Γ_* уменьшается, а параметры γ_{p*} и u_* возрастают.

В таблице 2 представлена зависимость трех критических величин Γ_* , γ_{p*} и u_* от показателя выпучивания β_{l1} и толщины ослабленного слоя l . Эти величины просчитаны по формулам (30) – (31). При этом использованы следующие данные: радиус скважины $r = 1$, глубина залегания слоя $h = 1000$ м; предел прочности на сжатие в рассматриваемом слое $\sigma_{сж} = 30$ МПа; модуль упругости породы слоя $E = 5000$ МПа; приведенный коэффициент сцепления $K_p = 8,66$ МПа; $\gamma = 2,5$ т/м³; $\nu = 0,3$; $\varphi = 30^0$.

Исследовано выпучивание ствола с различными показателями β_{l1} и l при наименьшем параметре $n=1$. Согласно (34) большему показателю β_{l1} соответствует меньшие значения l . Расчеты показывают, что при значениях $\beta_{l1} \geq 0,167\pi$ ($0 < l \leq 6$) параметры пространственной осесимметричной

устойчивости вертикальной скважины изменяются нелинейно, а при $\beta_{II} < 0,167\pi$ ($1 > \beta$) они практически не изменяются, асимптотически приближаясь своими значениями к параметрам плоскодеформированной устойчивости скважины. Таким образом, рассматриваемая пространственная осесимметричная постановка задачи устойчивости целесообразна, если показатель выпучивания $\beta_{II} \geq 0,167\pi$. Если $\beta_{II} < 0,167\pi$, то следует рассматривать задачу устойчивости в условиях плоской деформации.

Таблица 1

Зависимость параметров устойчивости скважины r_* , γ_{p*} , u_* от глубины h и характеристик E и $\sigma_{сж}$ рассматриваемого слоя

Глубина h , м		1000			1200			1500		
Расчетные параметры устойчивости		r_*	γ_{p*} кг/м ³	u_*	r_*	γ_{p*} кг/м ³	u_*	r_*	γ_{p*} кг/м ³	u_*
E, МПа	6000	2,15	1805	0,104	2,09	1902	0,112	2,02	2378	0,121
	8000	2,30	1569	0,103	2,24	1651	0,111	2,17	2062	0,120
	10000	2,43	1410	0,102	2,37	1483	0,109	2,29	1850	0,118
	12000	2,53	1293	0,101	2,47	1360	0,107	2,39	1695	0,116
	14000	2,63	1202	0,101	2,56	1264	0,106	2,48	1578	0,113
$\sigma_{сж}$, МПа	28	2,51	1665	0,094	2,52	1910	0,095	2,36	2236	0,096
	32	2,48	1543	0,097	2,46	1748	0,098	2,33	2030	0,099
	36	2,45	1433	0,099	2,41	1606	0,100	2,31	1839	0,101
	40	2,43	1245	0,101	2,37	1365	0,102	2,29	1503	0,103
	44	2,40	1083	0,102	2,34	1163	0,103	2,27	1245	0,104

Таблица 2

Зависимость параметров устойчивости скважины r_* , γ_{p*} , u_* от показателя выпучивания β_{II} и толщины ослабленного слоя l

Показатель выпучивания β_{II}	r_*	γ_{p*} , кг/м ³	u_*	Толщина ослабленного слоя l
--	--	--	--	0
π	2,486	1913	0,0196	1
$0,5\pi$	2,499	1873	0,0208	2
$0,33\pi$	2,508	1847	0,0214	3
$0,25\pi$	2,513	1829	0,0217	4
$0,2\pi$	2,516	1818	0,0218	5
$0,167\pi$	2,518	1812	0,0219	6
$0,143\pi$	2,519	1811	0,0219	7
$0,125\pi$	2,519	1810	0,0219	8
$0,111\pi$	2,519	1810	0,0219	9
$0,1\pi$	2,519	1810	0,0219	10

Заклучение

Нами разработаны методы расчета прочности и управления устойчивостью вертикальной скважины в условиях пространственной осесимметричной деформации пород пристволенной зоны в пределах слоя с пониженной предельной прочностью пород. Результаты исследования имеют практическую направленность применительно к конкретным нефтегазовым месторождениям Прикаспия и Кумколя, разрабатываемым в структурно-неоднородных горных массивах, содержащих ослабленные слои. Именно в пределах ослабленного слоя возможны различные осложнения при бурении – обвалообразование, смятие обсадных колонн, прихваты инструментов, затяжки и т.д. Все они являются следствием осесимметричной потери устойчивости стенок вертикальной скважины. Знание оптимальных параметров осесимметричной устойчивости – r_* , γ_{p*} , u_* позволяет избежать подобных осложнений. Ранее эти параметры определялись исходя из расчета устойчивости всего вертикального ствола. Расчет параметров устойчивости в пределах ослабленного слоя, залегающего на определенной глубине h , является более точным. Эти оптимальные технические параметры обеспечивают нормальный технологический процесс бурения скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alimzhanov, M.T. 1992. Methods of continuum nonlinear mechanics in problems of rock pressure control at drilling deep Holes. In *Advances in Mechanics*, 1992, vol.15, No.3-4, pp. 41-69.
2. Алимжанов, М.Т. Устойчивость равновесия тел и задачи механики горных пород [Текст] / М.Т. Алимжанов. – Алма-Ата: Наука, 1982. – 272 с.
3. Алимжанов, М.Т. Проблема устойчивости равновесия в задачах геомеханики [Текст] / М.Т. Алимжанов // Успехи механики [международный журн.]. – Варшава, 1990. – Т.13. – №3/4. – С.21-57.
4. Христианович, С.А. К теории идеальной пластичности [Текст] / С.А. Христианович, Е.И.Шемякин // Известия АН СССР: Механика твердого тела (МТТ). – 1967. – №4. – С.86-97.
5. Булычев, Н.С. Механика подземных сооружений [Текст] / Н.С.Булычев. – М.: Недра, 1982. – 272 с.

Материал поступил 24.12.13.

A.M. Alimzhanov, Zh.M. Namengenova, R.A. Malybayev

*RSE "Institute of Mechanics and Mechanical Engineering
named after acad. U.A. Dzholdasbekov" SC MES RK*

STRESS-STRAIN STATE (SSS) AND STABILITY AROUND VERTICAL OIL-WELL IN STRUCTURALLY-INHOMOGENEOUS ROCK MASSIF

The paper discusses the spatial axisymmetric stress-strain state (SSS) and the stability of elastoplastic balance vertical wells in structurally inhomogeneous rock mass. As a condition of strength used the Coulomb-Mohr condition. In the task used the theory of stability of rock mechanics developed by M.T. Alimzhanov. Methods of calculation of the strength and stability control vertical well in terms of spatial axisymmetric deformation of rocks near-wellbore zone within the layer with reduced physical and mechanical characteristics are developed.

Keywords: axial symmetry, the stress-strain state, elastoplastic balance, stability theory, rock mechanics.

УДК 624.159.5

И.И. Бекбасаров¹, Г.И. Исаков²¹Д-р техн. наук, проф. ²Магистр строительства
¹Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз
²Жамбылский областной акимат, г. Тараз**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОГРУЖАЕМОСТИ,
ЭНЕРГОЕМКОСТИ И НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
МОДЕЛЕЙ СВАЙ РАЗНОЙ ДЛИНЫ**

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований погружаемости, энергоемкости и несущей способности моделей свай разной длины. Представлены корреляционные зависимости, устанавливающие взаимосвязь геометрических параметров моделей свай с параметрами их забивки.

Ключевые слова: грунт, лоток, модель, свая, удар, забивка, глубина погружения, ходограмма, длина, масса, удельная энергоемкость, объем погружения, отказ, испытания, несущая способность.

Опыты проводились в лабораторных условиях с применением моделей свай, имеющих призматическую форму с квадратным поперечным сечением и клиновидной формой острия. Сведения о грунтовом лотке, лабораторном оборудовании, моделях свай и методике исследований приведены в работе [1]. Забивка моделей свай производилась при постоянном и одинаковом режиме приложения ударной нагрузки. Результаты первой серии экспериментов были рассмотрены в работе [2].

Результаты исследований представлены в таблице 1 и на рисунках 1 и 2.

Таблица 1

Результаты забивки моделей свай разной длины

Номер (длина) модели	Глубина забивки модели, мм	Удельная энергоемкость забивки модели, Дж/см ³
10 (225)	133	0,50
9 (275)	115	0,59
5 (325)	106	0,63
18 (375)	100	0,65

Ходограммы погружения моделей свай по характеру изменчивости близки к ходограммам забивки натуральных свай [3] и описываются следующими зависимостями (рис. 1 и 2).

$$h_p = -bn^2 + pn + m, \quad (1)$$

$$h_p = -t\mathcal{E}^2 + y\mathcal{E} + g, \quad (2)$$

где: h_p – глубина погружения (отказ) модели сваи, мм; b, p, m – коэффициенты, принимаемые по таблице 2; n – количество ударов

ударника; t, y, g – коэффициенты, принимаемые по таблице 3; \mathcal{E} – потенциальная энергия погружения модели сваи, Дж.

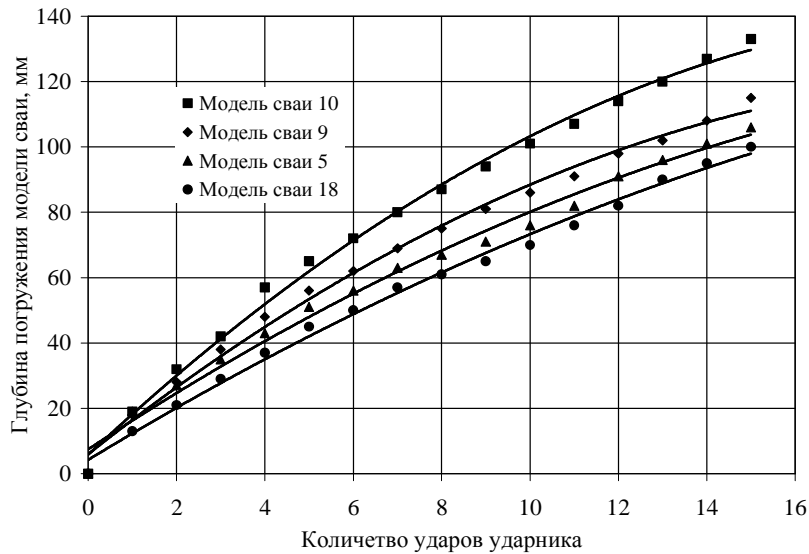


Рис. 1. Зависимость глубины погружения моделей свай от количества ударов

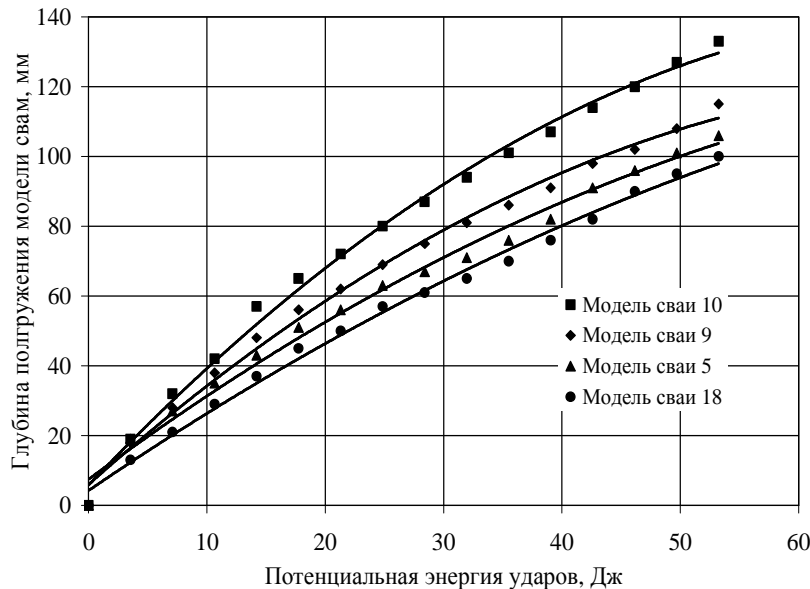


Рис. 2. Зависимость глубины погружения моделей свай от энергии их забивки

Из результатов экспериментов видно, что модели с большей длиной, а, следовательно и большей массой при одинаковых энергетических затратах ударника погружаются на меньшую глубину. Увеличение длины модели в 1,22, 1,44 и 1,67 раза (или увеличение массы модели в 1,5, 1,6 и 1,77 раза) приводит к уменьшению ее глубины погружения соответственно на 13,5, 20,3 и 24,8%.

Таблица 2

Значения коэффициентов b, p, m в формуле (1)

Номер модели (длина, мм)	Значения коэффициентов			Величина достоверности аппроксимации данных R^2
	b	p	m	
10(225)	0,2966	12,71	5,7819	0,9945
9(275)	0,2481	10,726	5,9718	0,9943
5(325)	0,1684	8,9468	7,4510	0,9902
18(375)	0,1311	8,2154	4,2341	0,9945

Таблица 3

Значения коэффициентов t, y, g в формуле (2)

Номер модели (длина, мм)	Значения коэффициентов			Величина достоверности аппроксимации данных R^2
	t	y	g	
10(225)	0,0235	3,5804	5,7819	0,9945
9(275)	0,0197	3,0213	5,9718	0,9943
5(325)	0,0134	2,5202	7,451	0,9902
18(375)	0,0104	2,3142	4,2341	0,9945

Зависимость глубины погружения моделей свай от их длины математически достаточно хорошо описывается следующей зависимостью (рис. 3)

$$h_p = dL^{-t}, \quad (3)$$

где: h_p – глубина погружения, мм; d, t – коэффициенты соответственно равные 2677,8, 0,557; L – длина свай, мм.

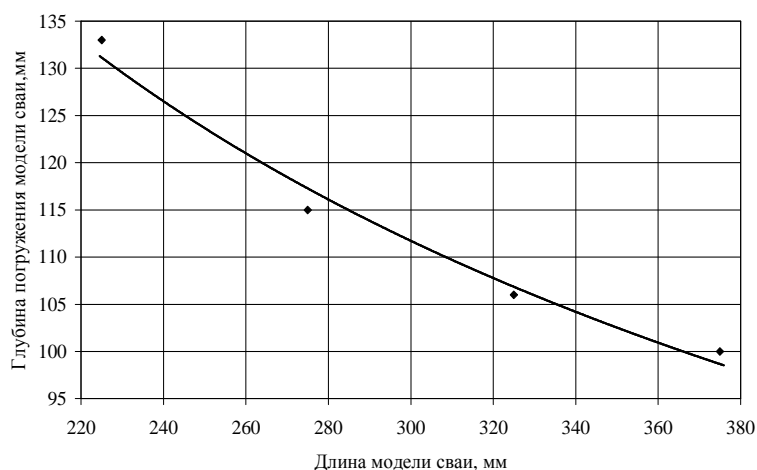


Рис. 3. Зависимость глубины погружения моделей свай от их длины

При этом величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (3) составляет $R^2 = 0,982$.

Зависимость глубины погружения моделей свай от их массы описывается следующей степенной функцией (рис. 4)

$$h_p = km^{-f}, \quad (4)$$

где: h_p – глубина погружения, мм; k, f – коэффициенты соответственно равные 1021,4, 0,4806; m – масса модели сваи, г.

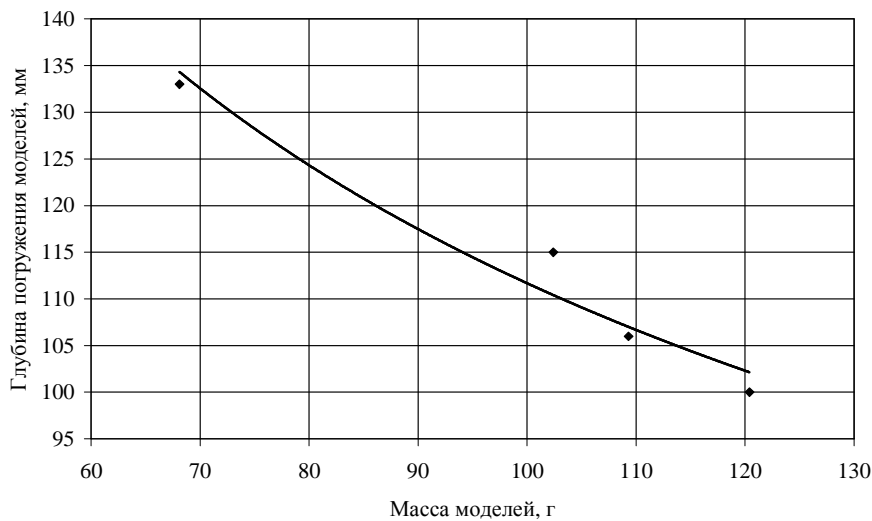


Рис. 4. Зависимость глубины погружения моделей свай от их массы

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (4) составляет $R^2 = 0,9458$.

Модели большой длины (большой массы) соответственно имеют и меньший объем погружения. Так объем погружения моделей при увеличении их длины в 1,22, 1,44 и 1,67 раза (или при увеличении их массы в 1,5, 1,6 и 1,77 раза) уменьшился соответственно на 14,9, 20,5 и 21,8%.

Удельная энергоёмкость забивки моделей (отношение энергии забивки модели к объёму ее погружения) свай с увеличением их длины, а, следовательно, и их массы, возрастает. Зависимость удельной энергоёмкости забивки моделей свай от их длины описывается следующей логарифмической функцией (рис. 5)

$$\mathcal{E}_v = c \lg(L) - e, \quad (4)$$

где: \mathcal{E}_v – удельная энергоёмкость забивки модели сваи, Дж/м³; c, e – коэффициенты соответственно равные 0,2937, 1,0774; L – длина сваи, мм.

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (4) составляет $R^2 = 0,9433$.

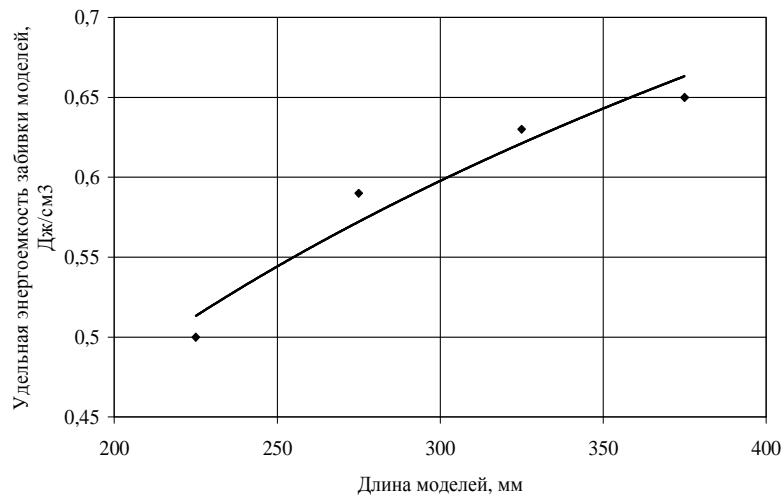


Рис. 5. Зависимость удельной энергоёмкости забивки моделей свай от их длины

Зависимость удельной энергоёмкости забивки моделей свай от их массы описывается степенной функцией (рис. 6):

$$\mathcal{E}_v = um^r h, \quad (5)$$

где: \mathcal{E}_v – удельная энергоёмкость забивки моделей свай, Дж/см³; u, r – коэффициенты соответственно равные 0,0707, 0,4628; m – масса модели свай, г.

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (5) составляет $R^2 = 0,9841$.

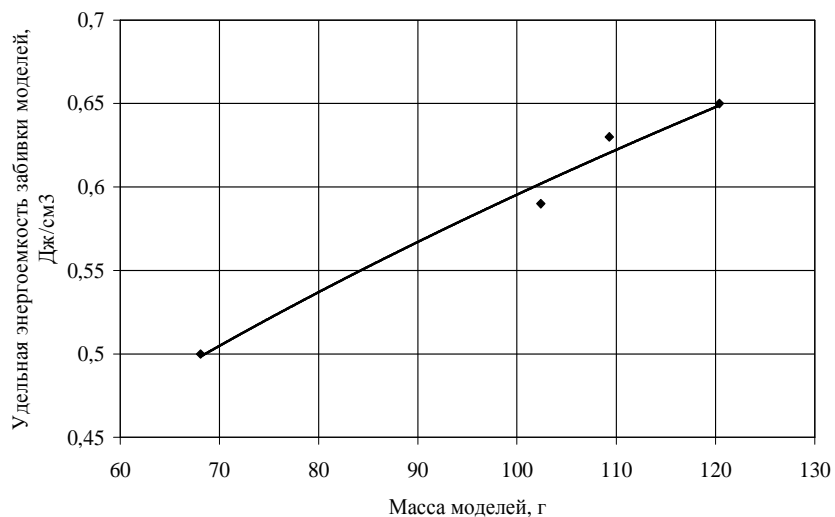


Рис. 6. Зависимость удельной энергоёмкости моделей свай от их массы

На основе результатов динамических испытаний моделей свай определены значения их статической несущей способности. Для расчета несущей способности моделей свай использованы формулы, представленные в работах [4-6]. Результаты выполненных расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты расчетов несущей способности моделей свай

Номер модели (длина, мм)	Исходные данные			Сила, $F_{гр}$, Н	Несущая способность, F_c , Н
	Q, Н	H, м	S_c , мм		
10(225)	24,52	0,145	5,1	581,40	480,02
9(275)			6,2	485,64	401,42
5(325)			7,1	417,35	345,37
18(375)			8,3	367,89	304,55

Установлено, что модели с большей относительной глубиной погружения Δh_p (Δh_p – отношение глубины погружения модели к ее длине) обладают большей несущей способностью (рис. 7). Зависимость относительной глубины забивки моделей свай Δh_p от их несущей способности F_c описывается следующей зависимостью

$$\Delta h_p = (h_p / L) = aF_c - f, \quad (6)$$

где: a , f – коэффициенты, равные соответственно 0,0019 и 0,3105.

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (6) составляет $R^2 = 0,9912$.

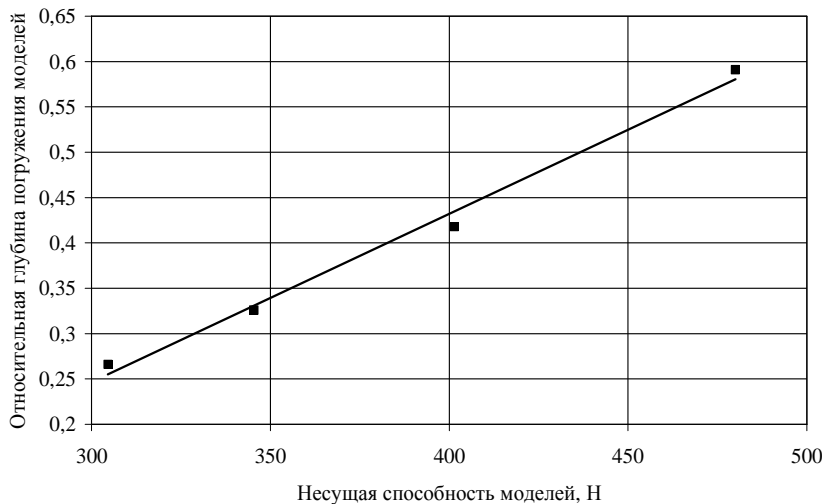


Рис. 7. Зависимость относительной глубины забивки моделей свай от их несущей способности

Зависимости (1)-(6) можно использовать для прогноза соответствующих параметров процесса забивки моделей с большой длиной, чем это было принято в наших экспериментах. При этом грунтовые условия и режим забивки моделей должны быть аналогичными.

По представленным данным построен график изменения коэффициента увеличения несущей способности моделей k_F от коэффициента увеличения их относительной глубины забивки $k_{\Delta h}$ (рис. 8).

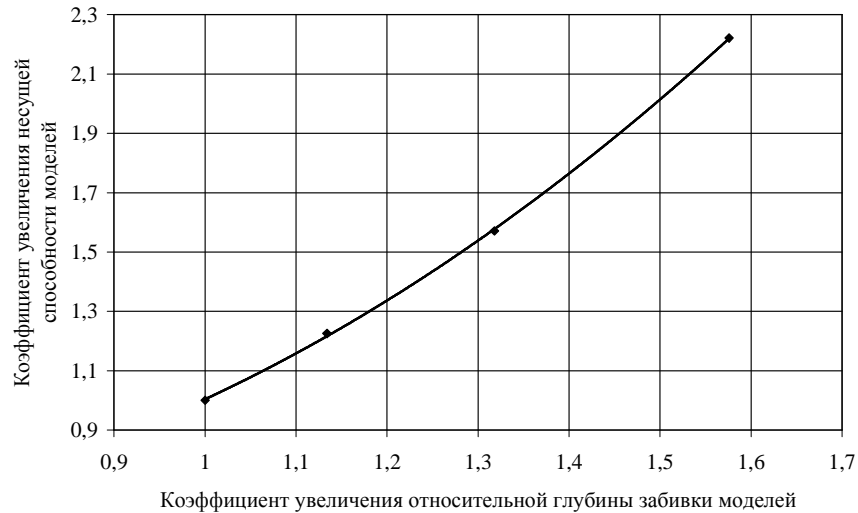


Рис. 8. Зависимость коэффициента увеличения несущей способности моделей свай от коэффициента увеличения их относительной глубины забивки

Данная зависимость описывается следующей формулой

$$k_F = pk_{\Delta h}^2 - gk_{\Delta h} + u, \quad (7)$$

где: p, g, u – коэффициенты соответственно равные 1,1906, 0,9565 и 0,7698.

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (7) составляет $R^2 = 0,9998$.

Формула (7) отражает зависимость между относительными параметрами. Допуская, что подобная зависимость характерна и для натуральных свай, выражение (7) для практического применения можно представить в виде:

$$F_{cb} = F_{cm} [p(\Delta h_{pb} / \Delta h_{pm})^2 - g(\Delta h_{pb} / \Delta h_{pm}) + u], \quad (8)$$

где: F_{cb}, F_{cm} – несущая способность соответственно прогнозной сваи и сваи-прототипа (с меньшей длиной); $\Delta h_{pb}, \Delta h_{pm}$ – относительная глубина забивки соответственно прогнозной сваи и сваи-прототипа (с меньшей длиной).

Формула (8) рекомендуется к использованию на стадии проектирования свайных фундаментов для сравнительного прогноза несущей способности натуральных свай разной длины по свае-прототипу (по свае с меньшей длиной), для которой известны относительная глубина забивки и несущая способность.

Формула (8) предназначена для призматических свай с квадратной формой поперечного сечения, погружаемых в одинаковые однородные грунтовые напластования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекбасаров, И.И. О методике экспериментальных исследований с применением моделей забивных свай разных форм и размеров [Текст] / И.И. Бекбасаров, Г.И. Исаков // Материалы республиканской научно-практической конференции магистрантов, докторантов и молодых преподавателей на тему «Наука и современность – 2012». – Тараз: Тараз университеті. – 2012. – Том 2. – С.125-129.
2. Исаков, Г.И. Экспериментальная оценка влияния длины свай на их энергоемкость и погружаемость в грунт [Текст] / Г.И. Исаков // Материалы республиканской научно-практической конференции магистрантов, докторантов и молодых преподавателей на тему «Наука и современность – 2013». – Тараз: Тараз университеті. – 2013. – Том 2. – С.152-158.
3. Бекбасаров, И.И. Основы рациональной забивки железобетонных свай в грунты [Текст]: монография / И.И. Бекбасаров. – Тараз: Тараз университеті, 2011. – 155 с.
4. Бекбасаров, И.И. О решении задачи по определению сопротивления грунта при ударном внедрении в него модели свай [Текст] / И.И. Бекбасаров, Г.И. Исаков // Научно-теоретический журнал / Механика и моделирование процессов технологии. – Тараз: Тараз университеті. – 2012. – № 1. – С. 12 - 18.
5. Бекбасаров, И.И. Об определении сопротивления грунта внедрению модели сваи при ударе [Текст] / И.И. Бекбасаров, Г.И. Исаков // Материалы международной научно-практической конференции «Уркумбаевские чтения. Водные ресурсы и пути их рационального использования в современных условиях». – Тараз: Тараз университеті. – 2012. – С. 363 - 368.
6. Бекбасаров, И.И. О методе определения несущей способности модели сваи по результатам ее забивки в грунт [Текст] / И.И. Бекбасаров, Г.И. Исаков // Материалы международной научно-практической конференции «Уркумбаевские чтения. Водные ресурсы и пути их рационального использования в современных условиях». – Тараз: Тараз университеті. – 2012. – С. 368 - 370.

Материал поступил 28.11.13.

I.I. Bekbasarov¹, G.I. Isakov²

¹Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz

²Zhambyl regional administration, Taraz

RESEARCH RESULTS OF DIVES, ENERGY INTENSITY AND CARRYING ABILITY OF MODELS PILES DIFFERENT LENGTHS

The article presents the results of experimental studies of absorption, energy intensity and carrying ability models piles of different lengths. Correlations establishing the relationship of geometric parameters of the models with the parameters of their pile are presented.

Keywords: soil, tray, model, pile, blow, hummer in, depth of immersion, hodogramma, length, mass, energy intensity, volume of immersion, failure, testing, carrying ability.

УДК 624.159.5

И.И. Бекбасаров¹, Г.И. Исаков²¹Д-р техн. наук, проф. ²Магистр строительства
¹Таразский государственный университет им. М.Х Дулати, г. Тараз
²Жамбылский областной акимат, г. Тараз**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОГРУЖАЕМОСТИ,
ЭНЕРГОЕМКОСТИ И НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
МОДЕЛЕЙ СВАЙ С РАЗНОЙ ПЛОЩАДЬЮ ПОПЕРЕЧНОГО
СЕЧЕНИЯ**

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований погружаемости, энергоемкости и несущей способности моделей призматических свай с разной площадью поперечного сечения. Представлены корреляционные зависимости, устанавливающие взаимосвязь геометрических параметров моделей свай с параметрами их забивки в грунт.

Ключевые слова: грунт, лоток, модель, свая, удар, забивка, глубина погружения, ходограмма, площадь, поперечное сечение, масса, удельная энергоемкость, объем погружения, отказ, испытания, несущая способность.

Опыты проводились с применением моделей свай, имеющих призматическую форму с квадратным поперечным сечением и клиновидной формой острия. Сведения о грунтовом лотке, лабораторном оборудовании, моделях свай и методике исследований приведены в работе [1]. Забивка моделей свай производилась при постоянном и одинаковом режиме приложения ударной нагрузки. Результаты первой серии экспериментов были рассмотрены в работе [2].

Результаты экспериментов представлены в таблице 1 и на рисунках 1 и 2.

Таблица 1

Результаты забивки моделей свай с разной площадью поперечного сечения

Номер (площадь сечения) модели	Глубина забивки модели, мм	Удельная энергоемкость забивки модели, Дж/см ³
1 (12,25)	94	0,40
5(9,0)	101	0,507
2(6,25)	124	0,595
3(4,0)	160	0,721

Ходограммы забивки моделей свай описываются следующими полиномиальными функциями 5 степени (рис. 1 и 2)

$$h_p = an^5 - bn^4 + pn^3 - mn^2 + kn + d, \quad (1)$$

$$h_p = r\varepsilon^5 - t\varepsilon^4 + y\varepsilon^3 - g\varepsilon^2 + o\varepsilon + w, \quad (2)$$

где: h_p – глубина погружения модели сваи в грунт, мм; a, b, p, m, k, d – коэффициенты, принимаемые по таблице 2; n – количество ударов ударника; r, t, y, g, o, w – коэффициенты, принимаемые по таблице 3; \mathcal{E} – потенциальная энергия погружения модели сваи, Дж.

Величины достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формулам (1) и (2) составляет $R^2 = (0,9983-0,9997)$.

Таблица 2

Значения коэффициентов a, b, p, m, k, d в формуле (1)

Номер (площадь сечения) модели	Значения коэффициентов					
	a	b	p	m	k	d
1(12,25)	0,0036	0,1429	2,0987	14,482	55,586	1,5385
5(9,0)	0,0005	0,0263	0,5389	5,5175	33,628	-0,0148
2(6,25)	0,0024	0,0871	1,2223	8,4051	34,268	0,6008
3(4,0)	9E-05	0,0072	0,2214	3,1160	23,657	-0,1636

Таблица 3

Значения коэффициентов r, t, y, g, l, w в формуле (2)

Номер модели сваи	Значения коэффициентов					
	r	t	y	g	o	w
1(12,25)	6E-06	0,0009	0,0469	1,1491	15,658	1,5385
5(9,0)	9E-07	0,0002	0,012	0,4378	9,4727	-0,0148
2(6,25)	4E-06	0,0005	0,0273	0,6669	9,6531	0,6006
3(4,0)	2E-07	5E-05	0,0049	0,2473	6,6638	-0,1636

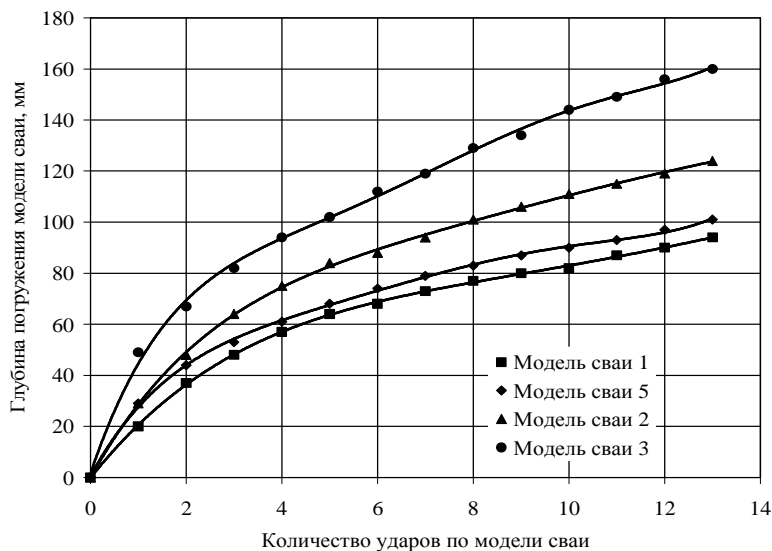


Рис. 1. Зависимость глубины погружения моделей сваи от количества ударов

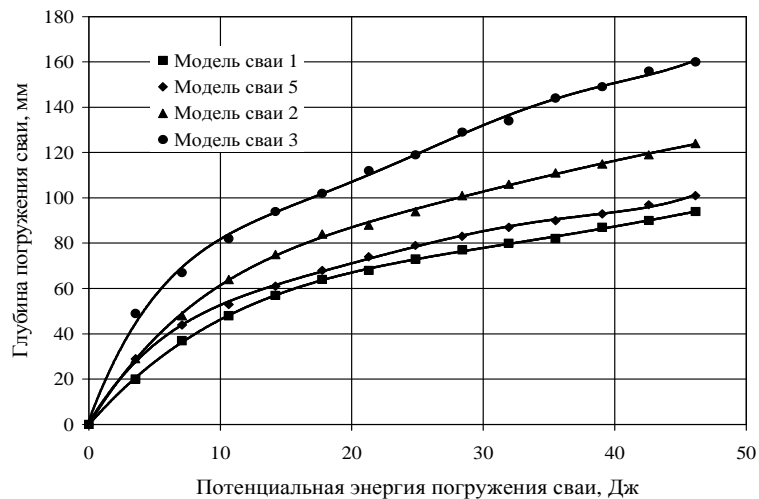


Рис. 2. Зависимость глубины погружения моделей свай от энергии их погружения

Из результатов исследований видно, что модели с меньшей площадью поперечного сечения, а следовательно и с меньшей массой, при одинаковых энергетических затратах ударника погружаются на большую глубину. Так модели сваи 5, 2 и 3, с площадью поперечного сечения 9,0, 6,25 и 4,0 см² по сравнению со свайей 1, имеющей площадь сечения 12,25 см², погрузились в грунт соответственно на 7, 30 и 66 мм больше (или соответственно на 7,4, 31,9 и 70,2 % больше). Уменьшение массы моделей свай в 1,62, 2,45 и 3,59 раза вызвало увеличение глубины забивки моделей соответственно в 1,07, 1,32 и 1,7 раза.

Зависимость глубина погружения моделей свай от площади их поперечного сечения описывается следующей полиномиальной функцией 3 степени (рис. 3)

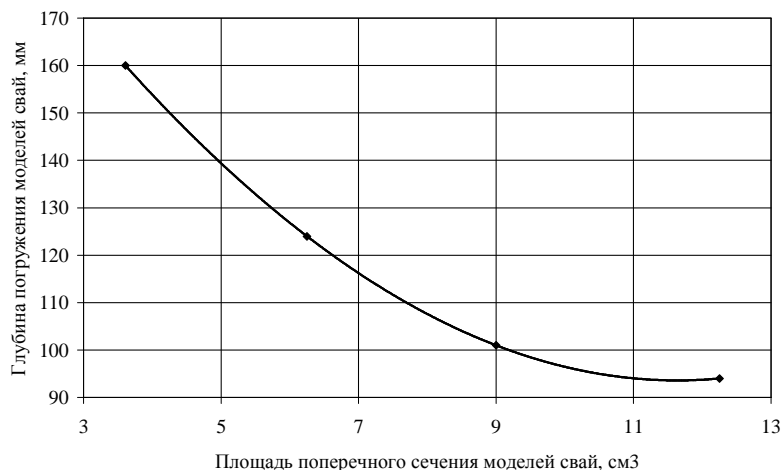


Рис. 3. Изменение глубины погружения моделей свай по мере увеличения площади их поперечного сечения

$$h_p = rA^3 + yA^2 - uA + s, \quad (3)$$

где: h_p – глубина погружения модели сваи, мм; r, y, u, s – коэффициенты соответственно равные 0,0066, 0,8544, 22,551, 229,97; A – площадь поперечного сечения модели сваи, см³.

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (3) составляет $R^2 = 1$.

Зависимость глубины забивки моделей свай от их массы описывается следующей степенной функцией (рис. 4)

$$h_p = bm^{-p}, \quad (4)$$

где: h_p – глубина погружения модели сваи, мм; b, p – коэффициенты соответственно равные 768,82, 0,4171; m – масса модели сваи, г.

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (4) составляет $R^2 = 0,9235$.

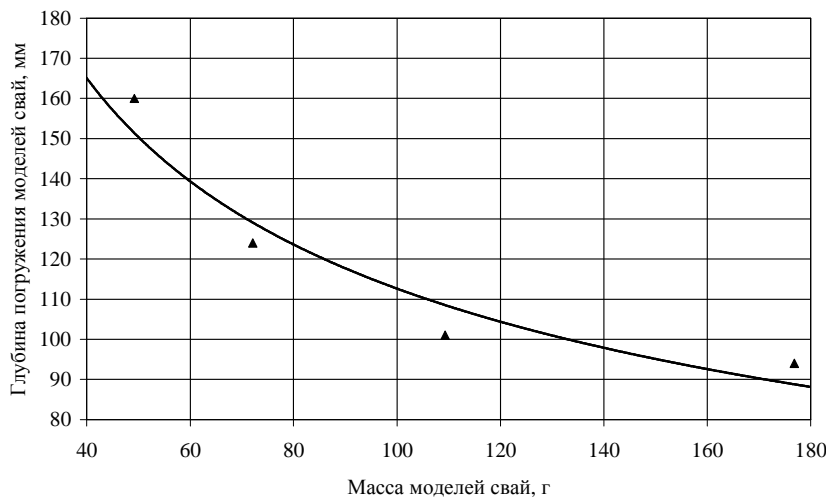


Рис. 4. Зависимость глубины погружения моделей свай от их массы

Модели с большей площадью поперечного сечения (с большей массой) соответственно имеют и больший объем погружения. Так объем погружения моделей при увеличении их площади поперечного сечения в 1,56, 2,25 и 3,06 раза (или при увеличении их массы в 1,47, 2,22 и 3,59 раза) увеличился соответственно на 21,1, 42,0 и 79,9 %.

Удельная энергоёмкость забивки моделей (отношение энергии забивки модели к объёму ее погружения) свай с увеличением их площади поперечного сечения, а, следовательно, и их массы, снижается.

Зависимость удельной энергоёмкости забивки моделей свай от площади их поперечного сечения описывается следующей полиномиальной функцией 2 степени (рис. 5)

$$\mathcal{E}_v = cA^2 - xA + z, \quad (5)$$

где: c, x, z – коэффициенты, равные 0,0018, 0,067 и 0,9557; A – площадь поперечного сечения модели сваи, см².

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (5) составляет $R^2 = 0,9953$.

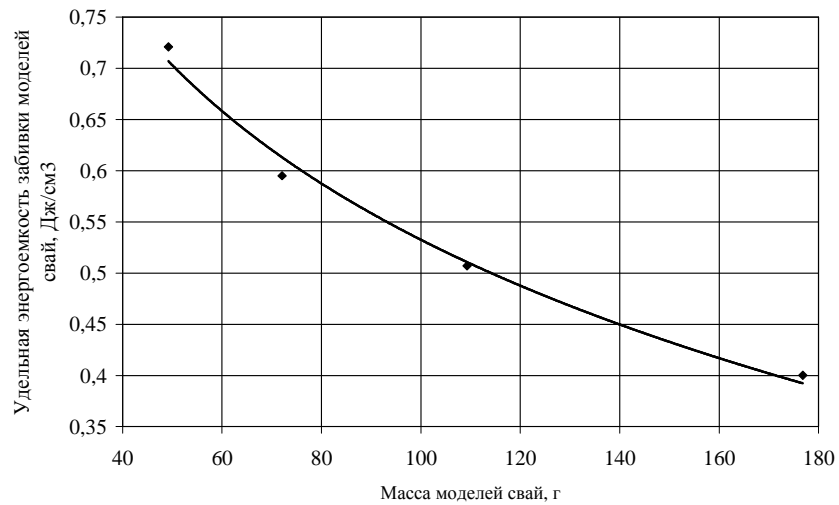


Рис. 5. Зависимость удельной энергоёмкости забивки моделей свай от площади их поперечного сечения

Зависимость удельной энергоёмкости забивки моделей свай от массы описывается следующей логарифмической функцией (рис. 6)

$$\mathcal{E}_v = -t \lg m + d, \quad (6)$$

где: t, d – коэффициенты, равные 0,246, 1,6654; m – масса модели свай, г

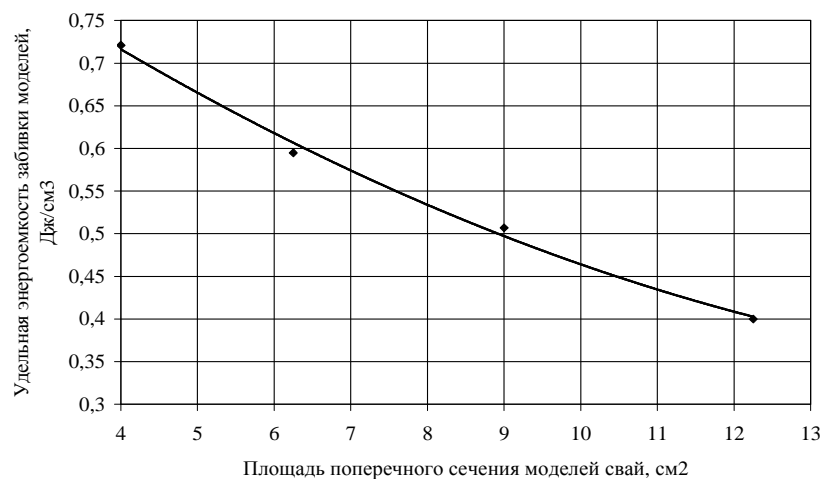


Рис. 6. Зависимость удельной энергоёмкости забивки моделей свай от их массы

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (6) составляет $R^2 = 0,9893$.

На основе результатов динамических испытаний моделей свай с разной площадью поперечного сечения определены значения их статической несущей способности. Для расчета несущей способности моделей свай использованы формулы, представленные в работах [3-5]. Результаты выполненных расчетов представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты расчетов по определению несущей способности моделей свай

Номер модели (площадь сечения, см ²)	Исходные данные			Сила, F _{гр} , Н	Несущая способность, F _с , Н
	Q, Н	H, м	S _с , мм		
1(12,25)	24,52	0,145	3,1	956,65	788,02
5(9,0)			4,2	722,5	595,83
2(6,25)			8,1	367,5	304,45
3(4,0)			13,1	230,76	192,21

Из таблицы 4 следует, что модели с большей площадью поперечного сечения обладают большей несущей способностью. Это в целом можно объяснить увеличением объема погружения моделей с увеличением площади их поперечного сечения. Зависимость между объемом забивки моделей свай и их несущей способностью описывается следующей линейной функцией (рис. 7)

$$V_p = rF_c + f, \quad (7)$$

где: r, f – коэффициенты, равные 0,0786, 49,953; F_c – несущая способность модели свай, Н.

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (7) составляет $R^2 = 0,9583$.

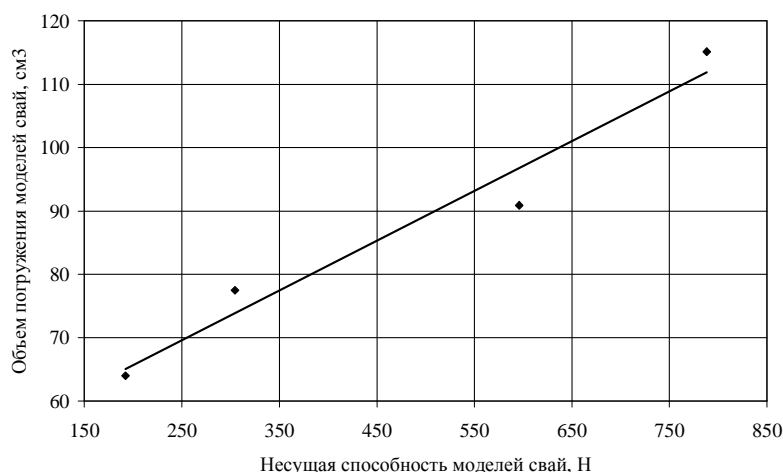


Рис. 7. Зависимость объема забивки моделей свай от их несущей способности

Зависимости (1)-(7) можно использовать для прогноза соответствующих параметров процесса забивки моделей с большими размерами попереч-

ного сечения, чем это было принято в наших экспериментах. При этом грунтовые условия и режим забивки моделей должны быть аналогичными.

По представленным данным построен график изменения коэффициента увеличения несущей способности моделей k_F от коэффициента увеличения их объема погружения k_v (рис. 8).

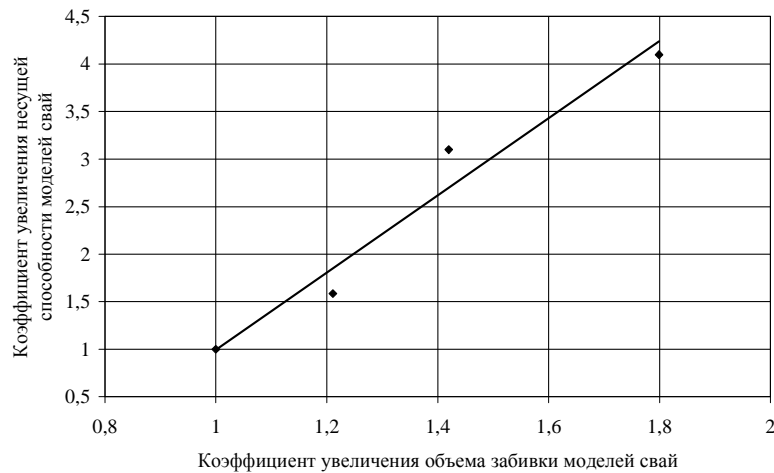


Рис.8. Зависимость коэффициента увеличения несущей способности моделей от коэффициента увеличения объема их забивки

Данная зависимость описывается следующей линейной функцией

$$k_F = ek_v - y, \quad (8)$$

где: e , y – коэффициенты соответственно равные 4,0616, 3,0682.

Величина достоверности аппроксимации экспериментальных данных по формуле (8) составляет $R^2 = 0,9582$.

Формула (8) отражает зависимость между относительными параметрами. Допуская, что подобная зависимость характерна и для натуральных свай, выражение (8) для практического применения можно представить в виде

$$F_{cb} = F_{cm} [e(V_{pb} / V_{pm}) - y], \quad (9)$$

где: F_{cb} , F_{cm} – несущая способность соответственно прогнозной сваи и сваи-прототипа (с меньшей длиной); V_{pb} , V_{pm} – объем забивки соответственно прогнозной сваи и сваи-прототипа (с меньшей площадью поперечного сечения).

Формула (9) рекомендуется к использованию на стадии проектирования свайных фундаментов для сравнительного прогноза несущей способности натуральных свай с разной площадью поперечного сечения по свае-прототипу (по свае с меньшей площадью поперечного сечения), для которой известны объем забивки и несущая способность.

Формула (9) предназначена для призматических свай с квадратной формой поперечного сечения, погружаемых в одинаковые однородные грунтовые напластования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекбасаров, И.И. О методике экспериментальных исследований с применением моделей забивных свай разных форм и размеров [Текст] / И.И. Бекбасаров, Г.И. Исаков // Материалы республиканской научно-практической конференции магистрантов, докторантов и молодых преподавателей на тему «Наука и современность – 2012». – Тараз: Тараз университеті. – 2012. – Том 2. – С.125-129.
2. Бекбасаров, И.И. Экспериментальная оценка влияния площади поперечного сечения свай на их погружаемость и энергоемкость забивки в грунты [Текст] / И.И. Бекбасаров, Г.И. Исаков, А. Аманбай // Научно-теоретический журнал / Механика и моделирование процессов технологии. – Тараз: Тараз университеті. – 2012. – №2. – С. 39-46.
3. Бекбасаров, И.И. О решении задачи по определению сопротивления грунта при ударном внедрении в него модели свай [Текст] / И.И. Бекбасаров, Г.И. Исаков // Научно-теоретический журнал / Механика и моделирование процессов технологии. – Тараз: Тараз университеті. – 2012. – №1. – С. 12-18.
4. Бекбасаров, И.И. Об определении сопротивления грунта внедрению модели сваи при ударе [Текст] / И.И. Бекбасаров, Г.И. Исаков // Материалы международной научно-практической конференции «Уркумбаевские чтения. Водные ресурсы и пути их рационального использования в современных условиях». – Тараз: Тараз университеті. – 2012. – С. 363 - 368.
5. Бекбасаров, И.И. О методе определения несущей способности модели сваи по результатам ее забивки в грунт [Текст] / И.И. Бекбасаров, Г.И. Исаков // Материалы международной научно-практической конференции «Уркумбаевские чтения. Водные ресурсы и пути их рационального использования в современных условиях». – Тараз: Тараз университеті. – 2012. – С. 368 - 370.

Материал поступил 28.11.13.

I.I. Bekbasarov¹, G.I. Isakov²

¹Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz

²Zhambyl regional administration, Taraz

**RESEARCH RESULTS OF DIVES, ENERGY INTENSITY AND
CARRYING ABILITY OF MODELS PILES DIFFERENT CROSS
SECTIONAL AREA**

The article presents the results of experimental studies of absorption, energy intensity and carrying ability models prismatic piles of different square. Correlations establishing the relationship of geometric parameters of the models with the parameters of their piles pile are presented.

Keywords: soil, tray, model, pile, blow, hummer in, depth of immersion, hodogramma, square, cross-section, mass, energy intensity, volume of immersion, failure, testing, carrying ability.

УДК 681.536.6:631.23

И.О. Волков¹, В.М. Каравайков²¹Аспирант, ²Д-р техн. наук, проф.

Костромской государственной технологической университет, г. Кострома, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ
ОБОЛОЧКУ КУЛЬТИВАЦИОННОГО СООРУЖЕНИЯ

В статье приводится математическая модель теплопередачи через ограждающие конструкции двойного остекления культивационного сооружения. Эта модель является основой методики расчета теплопередачи через ограждающие конструкции с целью снижения тепловых потерь.

Ключевые слова: культивационное сооружение, ограждающие конструкции, теплопередача, математическая модель.

Отрасль защищенного грунта является несколько индустриальной и высокотехнологичной, настолько и энергоемкой. В большинстве тепличных хозяйств в структуре себестоимости энергоносители составляют 50–60 %. С учетом характеристик современных теплиц, тепловая нагрузка которых не более 3,3 Гкал/ч, старые тепличные комбинаты на теплоснабжение каждого гектара переплачивают вследствие низкой энергоэффективности около 2–4 млн. руб. [1]. Важнейшей задачей повышения энергоэффективности является снижение тепловых потерь. В связи с этим необходимо разработать методику расчета теплопередачи через ограждающие конструкции культивационного сооружения.

Количество тепловой энергии, необходимой для отопления или охлаждения сооружения, определяется для каждого момента времени как результат суммирования его теплопотерь и теплопоступлений, то есть путем решения уравнения теплового баланса внутреннего воздуха.

Уравнение теплового баланса конструкции двойного остекления можно записать в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_1 = q_{R1} + q_{C1} + q'_{C1} + q'_{R1} \\ q_2 + q'_{C2} + q'_{R1} = q_{Cin} + q_{Rin} - q_{RAD} \end{array} \right\} \quad (1)$$

где: q_1 и q_2 – количество тепла коротковолновой радиации, поглощенной соответственно первым и вторым стеклом, Вт/м²; q_{R1} – лучистый поток тепла между наружной поверхностью первого стекла и «окружением», Вт/м²; q_{C1} – конвективный поток тепла между наружной поверхностью первого стекла и наружным воздухом, Вт/м²; $q'_{C1} = q'_{C2}$ – конвективный поток тепла в межстекольной прослойке, Вт/м²; q'_{R1} – лучистый поток тепла между поверхностями, ограничивающими прослойку, Вт/м²; q_{Cin} и q_{Rin} – соответственно конвективный и лучистый (длинноволновая радиация) потоки тепла на внутренней поверхности второго стекла, Вт/м²; q_{RAD} – поток тепла коротковолновой радиации на внутренней поверхности второго стекла, Вт/м².

Математическая модель теплопередачи через светопрозрачные ограждения теплицы состоит из обобщенного описания следующих тепловых потоков:

- теплопоступления в результате солнечной радиации, поглощаемой ограждениями (Q_{AB}) и непосредственно проникающей в помещение (Q_{TH});
- теплопоступления или теплопотери вследствие разности температур внутреннего и наружного воздуха (Q_{TW});
- теплопоступления или теплопотери вследствие фильтрации воздуха через притворы и по контуру примыкания заполнения к стене, обусловленные разницей давления и температуры внутри и снаружи сооружения (Q_{FW}).

Уравнение для определения необходимого количества энергии для отопления или охлаждения сооружения при заданной внутренней температуре воздуха следующее:

$$\sum_{i=1}^n q_{wi} F_{wi} + Q_F = Q \quad (2)$$

где q_{wi} – удельные тепловые потоки через наружные ограждающие конструкции, Вт/м², определяются как:

$$q_{wi} = \frac{1}{F_{wi}} (Q_{TW} + Q_{FW} + Q_{AB} + Q_{TH}) \quad (3)$$

Q_F – теплопотери за счет механической или естественной вентиляции, Вт; $F_{w,i}$ – площадь наружных стен и покрытия, м².

Рассчитываем отдельно радиацию, теплопотери в результате разницы температур внутреннего и наружного воздуха (Q_{TW}) и теплопотери в результате фильтрации воздуха через ограждения (Q_{FW}).

Сквозные теплопоступления Q_{TH} , Вт (телопоступления непосредственно проникающей через светопрозрачные ограждения солнечной радиации) вычисляются по формуле [2]:

$$Q_{TH} = (I_D r_R K_{1D} + I_d K_{1d})(F_W - F_e), \quad (4)$$

где: I_D , I_d – соответственно интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации, падающей на ограждение, Вт/м²; r_R – коэффициент облученности ограждения потоком солнечной радиации; K_{1D} – коэффициент сквозных теплопоступлений от прямой солнечной радиации; K_{1d} – коэффициент сквозных теплопоступлений от рассеянной солнечной радиации; F_e – площадь притворов, м²; F_W – площадь поверхности застекления.

В общем случае ограждающие конструкции являются неоднородными и могут содержать вентилируемые или замкнутые воздушные прослойки, а также источники тепла.

При определении математической модели теплопередачи через ограждающую конструкцию будем считать:

- теплотехнические характеристики материалов слоев не зависят от влажности и температуры материала;
- влияние стыков, наружных углов, теплопроводных включений на деформацию температурного поля ограждения корректируется с помощью введения эквивалентных теплотехнических показателей, так что температурное поле конструкции можно считать одномерным;
- теплопередача через конструкцию происходит за счет теплопроводности и фильтрации воздуха;

- имеют место потери (выделения) тепла, связанные с замерзанием (таянием) влаги на поверхности ограждения.

Поглощенные теплопоступления Q_{AB} , Вт (телопоступления, обусловленные поглощенной ограждением солнечной радиацией и разностью температур наружного и внутреннего воздуха) вычисляются по формуле [2]:

$$Q_{AB} = (I_D T_R K_{2D} + I_d K_{2d})(F_W - F_g) \quad (5)$$

где: K_{2D} – коэффициент поглощенных теплопоступлений от прямой солнечной радиации; K_{2d} – коэффициент поглощенных теплопоступлений от рассеянной солнечной радиации.

Тепловой поток между внутренней поверхностью светового ограждения и воздухом помещения, Вт, вычисляется по формуле:

$$Q_W = h_c(T_{insF} - T_R)F_W \quad (6)$$

где T_{insF} – температура внутренней поверхности светового ограждения, вычисляемая по формуле:

$$T_{insF} = \frac{T_D - T_R}{R_O h_R} + \frac{Q_{AB}}{h_R(F_W - F_g)} + T_R \quad (7)$$

Теплопоступления или теплопотери, обусловленные разницей температур внутреннего и наружного воздуха Q_{TW} , Вт, рассчитываются по формуле [3]:

$$Q_{TW} = \frac{1}{R_O}(T_R - T_O)F_W \quad (8)$$

где R_O – сопротивление теплопередаче светового ограждения, $m^2 \cdot ^\circ C / \text{Вт}$; T_R – температура внутреннего воздуха; T_O – условная температура наружного воздуха, $^\circ C$; F_W – площадь ограждения, m^2 .

Сопротивление теплопередаче светового ограждения следует вычислять с учетом разделения на конвективный и лучистый коэффициенты теплообмена у поверхностей стекол, омываемых наружным и внутренним воздухом.

Теплопоступления или теплопотери вследствие фильтрации воздуха Q_{FW} , Вт, рассчитываются по формуле:

$$Q_{FW} = C_R J_{FW} F_W (T_R - T_O) \quad (9)$$

где: C_R – количество воздуха, проходящего через световые ограждения; J_{FW} – количество воздуха, проходящего через единицу площади ограждения, $kg / (m^2 \cdot ч)$.

Если задано количество фильтрующегося воздуха по длине притворов и по периметру примыкания стеклянных ограждений к фундаменту и др., то к величине теплопотерь, вычисленных по формуле (9), следует добавить [1]:

$$Q_{FW} = C_R J_{FW} l (T_R - T_O), \quad (10)$$

где: J_{FW} – количество воздуха, проходящего через один погонный метр стыкового соединения, $kg / (ч \cdot м)$; l – протяженность соединений, м.

Вывод:

Разработана математическая модель теплопередачи через ограждающие конструкции двойного остекления культивационного сооружения, которая может служить основой методики расчета теплопередачи через ограждающие конструкции с целью снижения тепловых потерь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников, А.В. Организационно-техническое развитие системы теплоснабжения на примере ГУСХП «Высоковский» [Текст] / А.В. Овчинников, В.М. Каравайков // Главный энергетик. – 2010. – №8. – С. 42-47.
2. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
3. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст]: учебник для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.

Материал поступил 20.12.13.

I.O. Volkov, V.M. Karavaikov

Kostroma State Technological University, Kostroma, Russia

MATHEMATICAL MODEL OF HEAT TRANSFER THROUGH THE SHELL OF CULTIVATION STRUCTURES

In article the mathematical model of a heat transfer through protecting designs of a double glass cover of a hothouse construction is resulted. This model is a basis of a design procedure of a heat transfer through protecting designs for the purpose of decrease in thermal losses.

Keywords: the hothouse construction, protecting designs, a heat transfer, mathematical model.

УДК 664.64

Т.А. Гуринова¹, Т.Д. Самуйленко²

¹Канд. техн. наук, доц. ²Ассистент

Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия», г. Могилев, Республика Беларусь

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЖИДКИХ ЗАКВАСОК ПУТЕМ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ИХ БРОДИЛЬНОЙ МИКРОФЛОРЫ НА ОПТИМИЗИРОВАННЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СУБСТРАТАХ

Представлены результаты исследования физических и химических показателей коры дуба, используемого в качестве нетрадиционного биологически активного растительного сырья для хлебопекарной промышленности. Исследовано влияние коры дуба на показатели качества и хлебопекарные свойства ржаной муки. Рассмотрена возможность использования коры дуба в технологии жидких заквасок. Определены показатели дозированного внесения коры дуба, позволяющие

стабилизировать показатели качества жидких заквасок и увеличить потребительские свойства хлеба из ржаной муки и ее смеси с пшеничной мукой.

Ключевые слова: хлеб, мука, закваска, брожение, бродильная микрофлора, биологически активное сырье, кора дуба, бактериальная обсемененность, осахаривание, органолептические показатели.

Введение

В традиционной технологии приготовления хлеба из ржаной муки и смеси ее с пшеничной на хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь в качестве промежуточных полуфабрикатов используются жидкие закваски с завариванием части муки (далее жидкие закваски). Процесс их получения требует строгого соблюдения технологических параметров и, прежде всего, количества и регулярности внесения питательного субстрата при их возобновлении в процессе производственного цикла, что возможно обеспечить при непрерывном режиме работы хлебопекарных предприятий и достаточно постоянном объеме производимой продукции.

При постоянно изменяющихся условиях функционирования хлебозаводов возникает проблема сохранения микрофлоры жидких заквасок в жизнеспособном состоянии, повышения их активности, продления жизнедеятельности при возникающих технологических, вынужденных перерывах, а также подавления патогенной микрофлоры. Для ее решения на предприятиях отрасли в технологии жидких заквасок используются продукты переработки плодоовощной, мукомольной, пивоваренной и других отраслей пищевой промышленности [1, 7-8]. Однако зачастую они стимулируют развитие бродильной микрофлоры только на непродолжительный отрезок времени, что приводит в свою очередь к более частому возобновлению жидких заквасок по полному разводочному циклу.

В последнее время повышенное внимание уделяется возможности использования в пищевой технологии, в частности технологии жидких заквасок, нетрадиционного биологически активного сырья, содержащего различные группы веществ полифенольной природы, которые положительно влияют на жизнеспособные клетки заквасочных микроорганизмов, подавляют жизнедеятельность патогенной микрофлоры, способствуют продлению сроков хранения готовой продукции и позволяют получить функциональные пищевые продукты с повышенными антиоксидантными свойствами [9]. К такому нетрадиционному сырью, уже используемому в технологии жидких заквасок, можно отнести хмель и хмелепродукты, экстракты чая, продукты переработки плодов граната, танины, пряно-ароматическое сырье [5-6, 10]. Однако использование этих ингредиентов требует их дополнительной подготовки (получение экстрактов, отваров, смешивание с другими сырьевыми источниками в зависимости от применяемой технологии). В некоторых случаях используемые ингредиенты являются импортными. Все это приводит к удорожанию готовой продукции.

Поэтому поиск и исследование возможности использования нетрадиционного местного растительного биологически активного сырья для стимулирования жизнедеятельности бродильной микрофлоры жидких заквасок, а также разработка новой прогрессивной ресурсосберегающей технологии приготовления жидких заквасок со стабильными показателями качества, обеспечивающих высокие потребительские свойства хлеба из

ржаной муки и смеси ее с пшеничной, приготовленного на их основе, является актуальной и представляет научный и практический интерес.

Основная часть

В качестве нетрадиционного местного растительного биологически активного сырья с низкой себестоимостью, содержащего соединения полифенольной природы, а именно дубильные вещества, может служить кора дуба.

Исследования, ранее проведенные зарубежными и отечественными учеными, показали, что кора дуба обладает вяжущими, противовоспалительными и противогнилостными свойствами. Дубильные вещества растения обуславливают торможение воспалительных процессов, способствуют снижению всасывания стронция и обладают активными антиоксидантными, антиканцерогенными свойствами, оказывают профилактическое действие в отношении дегеративных заболеваний. Кроме того недавние исследования показали, что кора дуба обладает антимуtagenной активностью, о чем свидетельствует ее способность снижать мутагенные эффекты в клетках костного мозга [2-3]. Поэтому открывается перспектива использования коры дуба при производстве хлеба из ржаной муки и смеси ее с пшеничной.

На первом этапе исследований нами были изучены органолептические, физические показатели качества коры дуба, получаемой на территории Республики Беларусь, а также ее химический состав. В ходе исследований использовали методы анализа, общепринятые в пищевой промышленности и научных учреждениях Республики Беларусь. Исследования проводились в лабораториях кафедры технологии хлебопродуктов Учреждения образования «Могилевский государственный университет продовольствия».

По органолептическим показателям кора дуба представляет собой смесь легких неоднородных по размеру частиц различной формы светло-бурого, желтовато-бурого, светло-серого или серебристого цвета, проходящих сквозь сито с номинальным размером отверстия 5600 мкм. На наружной поверхности кусочков коры заметны поперечно вытянутые чечевички, на внутренней – продольные выдающиеся ребрышки. Запах слабый, своеобразный, усиливающийся при смачивании коры водой. Вкус сильно вяжущий.

Массовая доля влаги образцов коры дуба отечественных производителей составила $10,0 \pm 0,5\%$, что не превышает требований технических нормативных правовых актов (ТНПА) на данный вид сырья (не более $15,0\%$). Насыпная масса образцов коры дуба варьировалась в пределах 270 ± 20 кг/м³. Активная кислотность составила $4,8 \pm 0,2$ ед. Кроме того кора дуба имеет богатый химический состав, в частности высокое содержание биологически активных веществ (клетчатки, пектиновых, минеральных и дубильных веществ), значительная часть которых переходит в растворимое состояние при экстрагировании [4].

Перед дальнейшими исследованиями возможности использования коры дуба в технологии жидких заквасок ее подвергали дополнительному измельчению и просеиванию через сито из шелковой ткани №27 или полиамидной ткани №27 ПА-120 по ГОСТ 4403-91. Это позволило отделить частицы коры дуба, сходные по размеру с частицами муки ржаной хлебопекарной, для равномерного распределения коры дуба и частиц муки в

жидкой закваске, а соответственно и последующей равномерной доступности их для клеток бродильной микрофлоры.

Далее измельченную до размера частиц муки кору дуба вносили в количестве до 2,0% с интервалом 0,4% в муку ржаную обдирную, сеяную и исследовали ее влияние на органолептические (внешний вид, запах, вкус), физико-химические (массовую долю влаги, титруемую кислотность), микробиологические (общая бактериальная обсемененность) показатели и хлебопекарные свойства ржаной муки (автолитическую активность), используемой при приготовлении жидких заквасок.

По органолептическим показателям образцы смесей муки ржаной хлебопекарной и коры дуба представляли собой порошкообразную сыпучую мучную смесь без грубых включений и непросева, цвет, запах и вкус свойственный муке без посторонних запахов и привкусов. Массовая доля влаги всех образцов смесей составила $10,2 \pm 0,2\%$, что соответствует требованиям ТНПА на муку ржаную хлебопекарную. Было установлено изменение кислотности образцов смесей муки, причем с увеличением дозировки коры дуба увеличивалась и титруемая кислотность образцов, что можно объяснить компонентами коры дуба, имеющими кислую реакцию [4].

По показателю общей бактериальной обсемененности (ОБО, ед/г) исследовали образцы смесей как на момент смешивания муки ржаной хлебопекарной и коры дуба, так и в процессе хранения в течение 12 мес. Результаты исследований общей бактериальной обсемененности на примере образцов смесей из муки ржаной обдирной и коры дуба представлены на рисунке 1.

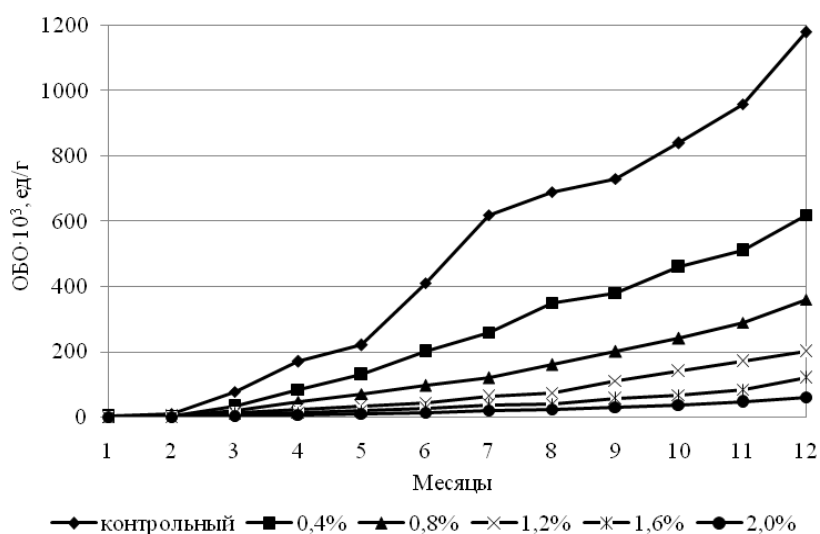


Рис. 1. Зависимость общей бактериальной обсемененности образцов смесей муки ржаной обдирной и коры дуба от продолжительности хранения

Результаты исследований, представленные на рисунке 1, показывают, что общая бактериальная обсемененность образцов смесей муки ржаной обдирной и коры дуба в процессе их хранения снижается до 20 раз в зависимости от количества внесенной коры дуба. Это можно объяснить высокими антимикробными и фунгицидными свойствами коры дуба и рассматривать как положительный фактор, обеспечивающий стойкость при

хранении основного сырья (муки) и снижение развития нежелательной микрофлоры, как самих смесей, так и жидких заквасок, приготовленных с их использованием. Аналогичные результаты были получены при исследовании образцов смесей из муки ржаной сеяной и коры дуба.

Внесение коры дуба в муку ржаную способствует также снижению автолитической активности (она переходит из группы с повышенной в группу с нормальной автолитической активностью), что можно рассматривать как положительный момент в технологии приготовления хлеба из ржаной муки и смеси ее с пшеничной [4].

На следующем этапе исследований осуществляли приготовление заварки путем смешивания муки ржаной обдирной, коры дуба, измельченной до размера частиц муки, в ранее выбранных количествах и горячей воды температуры 95...97°C в соотношении, обеспечивающем массовую долю влаги заварки 72,0...74,0%. Образцы смесей тщательно перемешивали до получения однородной консистенции. Температура полученной заварки составляла 65 °С. Затем при этой же температуре проводили осахаривание заварки в течение 180 мин. Степень осахаривания заварки и влияние на этот процесс внесенной коры дуба оценивали по нарастающему редуцирующим веществам каждые 30 мин (рис. 2).

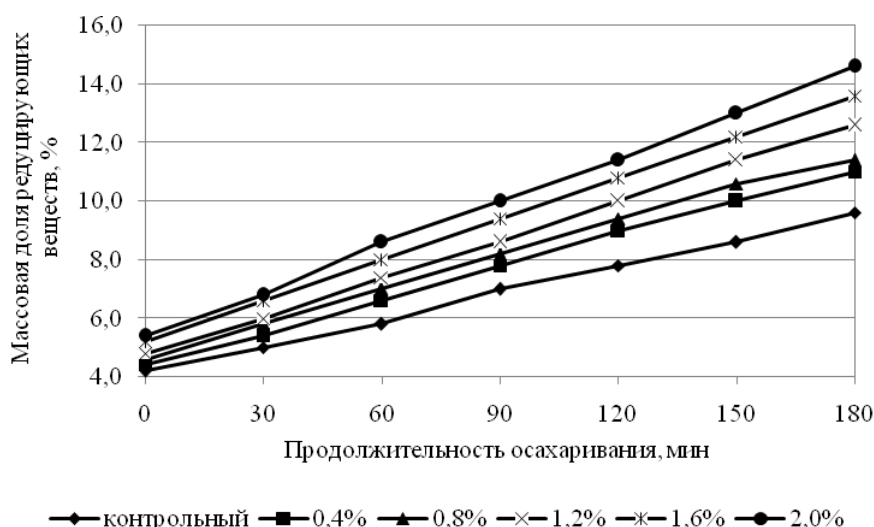


Рис. 2. Изменение редуцирующих веществ в заварке в процессе ее осахаривания

Из рисунка 2 видно, что при использовании измельченной до размера частиц муки коры дуба на стадии приготовления заварки увеличивается начальное содержание редуцирующих веществ, которые вносятся с корой дуба. При последующем осахаривании заварки происходит нарастание массовой доли редуцирующих веществ, как в контрольном образце, так и в образцах с внесением коры дуба, причем в опытных образцах прирост редуцирующих веществ происходит более активно. Это позволяет сократить продолжительность осахаривания заварки более чем на 30 мин, а следовательно, и сократить расходы энергоресурсов на этот процесс. Аналогичная тенденция сохраняется и при использовании на стадии приготовления заварки и осахаривания муки ржаной сеяной.

Затем исследовали изменение основных показателей качества жидкой закваски при ее возобновлении питательной средой, состоящей из осахаренной заварки, полученной из муки ржаной обдирной с внесением различного количества измельченной до размера частиц муки коры дуба и водомучной суспензии. В исследованиях использовали жидкую закваску, приготовленную в производственных условиях хлебопекарного предприятия с влажностью 80,0%, кислотностью 10,2 град. и подъемной силой 28 мин. Возобновление жидкой закваски осуществляли при соотношении полуфабриката предыдущего приготовления и питательной смеси 1:1, температуре 30 °С в течение 300 мин. Через каждые 60 мин оценивали кислотность жидкой закваски и ее подъемную силу. Результаты исследований представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

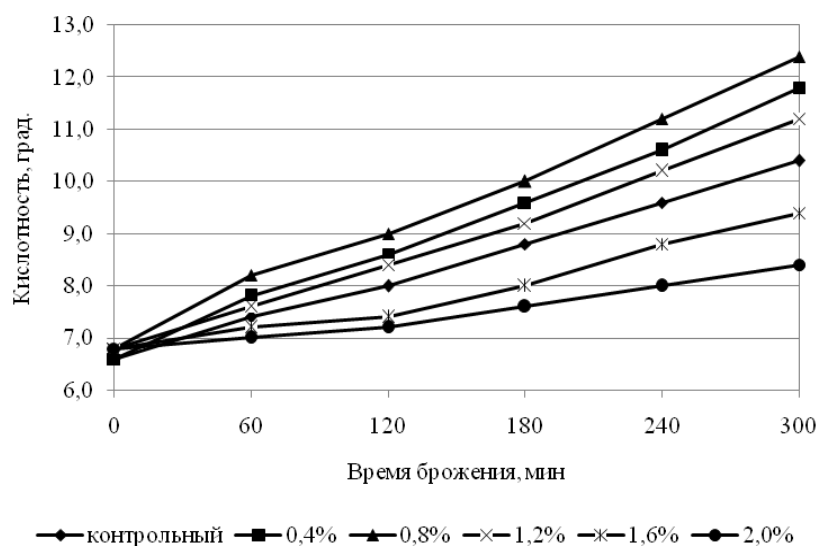


Рис. 3. Изменение кислотности жидкой закваски в процессе ее брожения

Из результатов, представленных на рисунке 3, видно, что добавление измельченной до размера частиц муки коры дуба влияет на показатель кислотности жидкой закваски. В начале брожения показатель кислотности варьируется в пределах 6,6-6,8 град. Внесение коры дуба в количестве до 0,8% от массы муки в заварке на стадии ее приготовления интенсифицирует процесс кислотонакопления. Через 300 мин брожения жидкой закваски ее кислотность составляет 10,4 град. для контрольного образца, 11,8 град. для образца с внесением коры дуба в количестве 0,4% и 12,4 град. для образца с внесением коры дуба в количестве 0,8%. При дальнейшем увеличении дозировки коры дуба происходит постепенное угнетение молочнокислых бактерий активными веществами коры дуба. Кислотность жидкой закваски образца с внесением коры дуба в количестве 1,2% нарастает медленнее на протяжении всего периода брожения, но по-прежнему остается выше показателя кислотности контрольного образца. Через 300 мин брожения кислотность для образца с внесением коры дуба в количестве 1,2% составляет 11,2 град. При увеличении вносимой коры дуба от 1,2 до 2,0% от массы муки в заварке происходит снижение показателя кислотности по

сравнению с контрольным образцом. Показатель кислотности образца жидкой закваски с внесением коры дуба в количестве 2,0% по истечении 300 мин брожения составляет 8,4 град. Брожение этого образца было продолжено еще в течение 60 мин, что привело к увеличению кислотности до 9,0 град., соответствующей рекомендациям технологических инструкций.

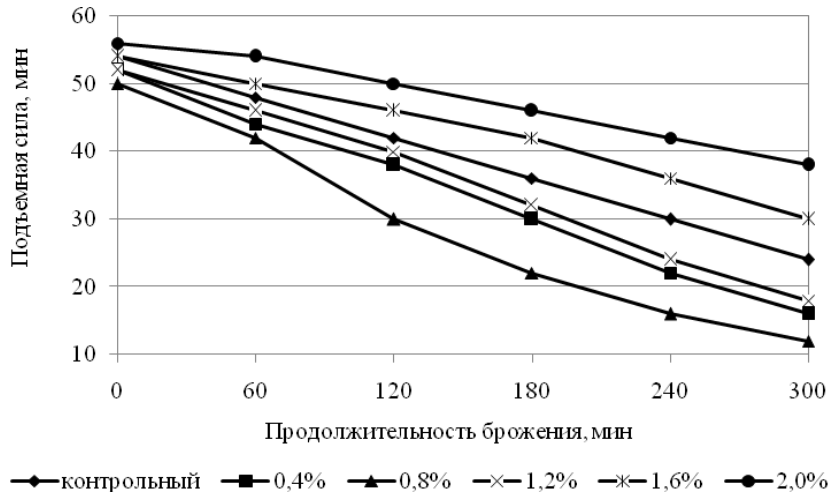


Рис. 4. Изменение подъемной силы жидкой закваски в процессе ее брожения

Из результатов, представленных на рисунке 4, видно, что внесение измельченной до размера частиц муки коры дуба влияет и на показатель подъемной силы жидкой закваски. По этому показателю, который согласно технологическим инструкциям должен составлять не более 30 мин, готовность контрольного образца жидкой закваски наступает через 240 мин. При внесении коры дуба в количестве 0,4 и 0,8% от массы муки в заварке на стадии ее приготовления происходит более интенсивное снижение показателя подъемной силы жидкой закваски. Для образца с внесением коры дуба в количестве 0,4% ее готовность наступает через 180 мин, а для образца с внесением коры дуба в количестве 0,8% через 120 мин. Готовность жидкой закваски с внесением коры дуба в количестве 1,2% наступает через 210 мин, что несколько быстрее, чем для контрольного образца. При дальнейшем увеличении дозировки коры дуба готовность жидкой закваски с ее внесением в количестве 1,6% наступает через 300 мин брожения. Подъемная сила жидкой закваски с внесением коры дуба в количестве 2,0% достигает величины 30 мин только после 360 мин брожения.

Эти изменения можно объяснить стимулированием жизнедеятельности бродильной микрофлоры за счет веществ, вносимых с корой дуба в количестве до 1,2% от массы муки в заварке, способствующих не только стабилизации показателей качества жидкой закваски в условиях непрерывного режима работы хлебопекарного предприятия, но и сокращению процесса ее приготовления. Использование измельченной до размера частиц муки коры дуба в количестве 1,6 и 2,0% от массы муки в заварке приводит к некоторому подавлению жизнедеятельности молочнокислых бактерий. Это позволяет продлить продолжительность брожения жидкой закваски, что

целесообразно при дискретных режимах работы хлебопекарных предприятий или в ситуациях вынужденных остановок и перерывов в том случае, если необходимо замедлить процесс развития бродильной микрофлоры без существенных изменений показателей качества жидкой закваски.

Все образцы жидкой закваски с внесением различного количества измельченной до размера частиц муки коры дуба после достижения ею показателей качества, рекомендуемых технологическими инструкциями, направляли на приготовление теста для ржано-пшеничного хлеба «Дарницкий». Характеристика образцов жидкой закваски, используемой для замеса теста, представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика образцов жидкой закваски

Образцы жидкой закваски	Продолжительность брожения, мин	Кислотность, град.	Подъемная сила, мин
контрольный	240	9,6	30
с внесением 0,4% коры дуба	180	9,6	30
с внесением 0,8% коры дуба	120	9,0	30
с внесением 1,2% коры дуба	210	9,8	28
с внесением 1,6% коры дуба	300	9,4	30
с внесением 2,0% коры дуба	360	9,0	30

Замес теста осуществляли с использованием лабораторной тестомесильной машины, брожение теста проводили в термостате до достижения требуемой кислотности, затем тесто подвергали разделке, расстойке и выпечке. Показатели качества готовых изделий оценивали через 14 часов после выпечки.

Выпеченные образцы ржано-пшеничного хлеба с использованием образцов жидкой закваски с внесением коры дуба оценивали по органолептическим и физико-химическим показателям качества.

Вкус и запах образцов хлеба, приготовленного с использованием всех образцов жидкой закваски с внесением коры дуба, цвет мякиша, структура его пористости имели более выраженную характеристику, чем образец хлеба, приготовленный с использованием традиционной жидкой закваски, и соответствовали требованиям ТНПА для данной группы изделий.

Кислотность хлеба, приготовленного с использованием контрольного образца жидкой закваски, составила 7,2 град. Кислотность образцов жидкой закваски с внесением различного количества измельченной до размера частиц муки коры дуба на стадии приготовления заварки варьировалась в пределах 6,6-7,2 град. в зависимости от дозировки коры дуба. Пористость хлеба, приготовленного с использованием контрольного образца жидкой закваски, составила 56%. Для хлеба, приготовленного с использованием образцов жидкой закваски с внесением коры дуба, пористость варьировалась в пределах 56-62%. Показатели соответствуют требованиям ТНПА для данной группы хлебобулочных изделий и находятся в пределах значений показателей для хлеба, приготовленного с использованием контрольного образца жидкой закваски.

Заключение

Проведенные исследования показали, что кора дуба в своем составе содержит значительное количество биологически активных веществ, повышающих не только ее антиоксидантные, антимикробные и фунгицидные свойства, но также и пищевую ценность готовой продукции, что открывает перспективу использования этого нетрадиционного растительного сырья в хлебопекарном производстве.

Использование коры дуба в технологии жидких заквасок приводит к более активному повышению ее кислотности и снижению подъемной силы за счет стимулирования жизнедеятельности бродильной микрофлоры и способствует стабилизации показателей качества жидкой закваски при непрерывном режиме работы предприятия, а также позволяет удлинить сроки культивирования полуфабрикатов в условиях дискретности.

Таким образом, культивирование жидких заквасок на питательных средах с внесением коры дуба позволяет повысить потребительские свойства хлеба из ржаной муки и смеси ее с пшеничной, полученного на их основе, в постоянно изменяющихся условиях работы хлебопекарных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аширова, Ю. Использование послеспиртовой барды из топинамбура [Текст] / Ю. Аширова // Хлебопродукты. – 2009. – №10. – С. 46-47.
2. Бушина, И.А. Влияние дубового экстракта на спонтанный и индуцированный мутагенез *in vivo* [Текст] / И.А. Бушина, А.К. Жанатаев, А.Д. Дурнев, Л.А. Оганесянц // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – №12. – С. 74-77.
3. Бушина, И.А. Изучение антиоксидантной активности экстракта дубового [Текст] / И.А. Бушина, В.Г. Булгаков, А.К. Жанатаев, А.Д. Дурнев, Л.А. Оганесянц // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – №11. – С. 60-62.
4. Гуринова, Т.А. Исследование химического состава коры дуба как нетрадиционного сырья в технологии приготовления жидких заквасок [Текст] / Т.А. Гуринова, Т.Д. Самуйленко // Инновационные технологии в пищевой и перерабатывающей промышленности: Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, 20-22 ноября 2012 г. – Краснодар: КубГТУ, 2012. – С. 231-234.
5. Дерканосова, Н.М. Влияние хмелевых продуктов на жидкую ржаную закваску [Текст] / Н.М. Дерканосова, Е.В. Белокурова, Т.Н. Малютина // Хлебопродукты. – 2007. – №4. – С. 40-41.
6. Касьянов, Г.И. Применение пряно-ароматических и лекарственных растений в пищевой промышленности [Текст] / Г.И. Касьянов, И.Е. Кизим, М.А. Холодцов // Пищевая промышленность. – 2000. – №5. – С. 33-35.
7. Корячкина, С.Я. Использование нетрадиционного сырья при производстве ржаных заквасок [Текст] / С.Я. Корячкина, Н.А. Березина // Известия вузов. Пищевая технология. – 2001. – №4. – С. 99.
8. Малютина, Т.Н. Использование пюре из якона при производстве жидкой ржаной закваски [Текст] / Т.Н. Малютина, Н.М. Дерканосова, В.К. Гинс // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – №11. – С. 82-84.

9. Прида, А.И. Природные антиоксиданты полифенольной природы (Антирадикальные свойства и перспективы использования) [Текст] / А.И. Прида, Р.И. Иванова // Пищевые ингредиенты. – 2004. – №2. – С. 76-78.
10. Пучкова, Л.И. Экстракт зеленого чая – источник биофлавоноидов в хлебобулочных изделиях функционального назначения [Текст] / Л.И. Пучкова, И.Г. Белявская, Ж.М. Жамукова // Хлебопечение России. – 2004. – №2. – С. 26.

Материал поступил 23.12.13.

T. Gurinova, T. Samuylenko,

Mogilev State Foodstuffs University, Mogilev, Republic of Belarus

PERFECTION OF TECHNOLOGY OF LIQUID FERMENTS BY ABILITY TO LIVE OF THEIR BARMY MICROFLORA ON THE OPTIMIZED NUTRITIOUS SUBSTRATA

Visual, physical and chemical indicators of quality, chemical compound of a bark of an oak as nonconventional biologically active vegetative raw materials for the baking industry are investigated. Influence of a bark of an oak on indicators of quality and baking properties of rye flour is investigated. Possibility of use of a bark of an oak in technology of liquid ferments is investigated. Dosages of a bark of the oak are defined, allowing to stabilize indicators of quality of liquid ferments and to increase consumer properties of bread from rye flour and its mix from the wheaten.

Keywords: bread, flour, yeast, fermentation, fermenting microflora, biologically active materials, oak bark, bacterial contamination, saccharification, organoleptic characteristics.

УДК 628. 038. 631.85

Д.А. Кулбаева¹, Э.А. Байбазарова²

*¹Магистр ХТНВ, преподаватель, ²Магистр химии, преподаватель
Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз*

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДА ФОСФОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Приведены материалы исследований по получению комплексных минеральных удобрений с содержанием NPKS путем вовлечения котельного молока в производство минеральных удобрений. Утилизация отходов имеет ряд преимуществ, так как в исследуемом растворе в большом количестве содержатся такие питательные элементы, как фосфор, калий, сера и азот.

Ключевые слова: котельное молоко, пыль, аммиак, сера, оборотный раствор, экстракционная фосфорная кислота, дифференциальный фотометрический метод, пламенно-фотометрический метод, хлораминовый титриметрический метод.

Обеспечение минеральными удобрениями сельского хозяйства республики остро ставит вопрос о необходимости экологической и экономической эффективности удобрения под отдельные культуры в зависимости от народнохозяйственного значения и зоны их возделывания, а также разработки мероприятий по повышению окупаемости внесенных удобрений и экономии затрат на их использование.



Рис. 1. Комплексное удобрение с добавлением NPKS

Котрельное молоко является отходом производства желтого фосфора на ЖФ ТОО «Казфосфат» НДФЗ, получается в процессе очистки в электрофильтрах отходящих после фосфорных печей газов, имеющих в своем составе увлеченные пары фосфора, которые в электрофильтрах конденсируются и вместе с уловленной пылью смываются водой в карты шламонакопителя [1].

После полного заполнения карты котрельным молоком она консервируется и проходит длительный цикл естественной сушки, в конце которого превращается в котрельную пыль. Котрельная пыль, являясь отходом производства, содержит в своем составе до 60 % фосфорных солей, что в пересчете на общую формулу P_2O_5 составляет 26-28 % [2].

Под шламонакопителями котрельного молока заняты большие земельные площади (рис. 2). Высохшая котрельная пыль сдувается ветрами с поверхности карты, что приводит к загрязнению окружающей среды (рис. 3).



Рис. 2. Отвал отходов завода НДФЗ



Рис. 3. Состояние котрельных отходов в открытой атмосфере

В связи с ужесточением требований законодательства РК в области охраны окружающей среды проблема вовлечения в переработку котрельной пыли стала особенно острой. Котрельное молоко относится к веществам, представляющим опасность для окружающей среды, поэтому оно отнесено к опасному производственному объекту согласно ст. 3 Закона РК «О промышленной безопасности на опасных производственных объектах».

Котрельное молоко можно использовать при экстракции фосфорной кислоты в качестве добавки к оборотному раствору в соотношении N : P₂O₅ : K₂O: S – 15:19:5:13. Полученный на основе экстракционной фосфорной кислоты с вовлечением в процесс котрельного молока аммофос содержит до 0,9% серы, которая отсутствует в аммофосе, выпускаемом в настоящее время [3].

Сера относится к одному из основных элементов питания растений, способствует повышению их урожайности, оздоровлению почвы и повышает сопротивляемость растений к различным заболеваниям. Канадской компанией «ShellCanadaLimited» получено удобрение, обогащенное серой (УОС) по агрохимической эффективности превосходящее традиционно используемые аммофос, двойной суперфосфат.

Для переработки котрельного молока ее необходимо поставить в железнодорожной цистерне, слить в реактор и дозреватель, и вводить в технологический процесс экстракции путем смешения с оборотным раствором [4].

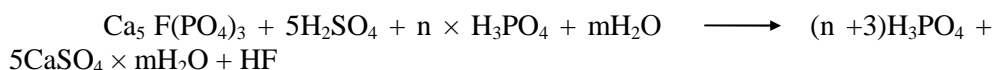
Котрельное молоко, взятое для проведения исследований имеет следующий состав, % масс.: P₂O₅ – 34,9%; K₂O – 7,7%; Na₂O – 2,1%; SO₃ – 1,4%; R₂O₃ – 4,6%; SiO₂ – 30,1%; CaO – 11,5%; MgO – 5,7%; F – 2,4%. Содержание P₂O₅ и K₂O в котрельной пыли высокие.

Котрельное молоко имеет в своем составе остаточный элементарный фосфор. В связи с большой разбавленностью ее использовали в качестве добавки к оборотному раствору (слабой фосфорной кислоте), в присутствии которого разлагается серной кислотой фоссырье Каратау [5].

Производство фосфорной кислоты методом сернокислотной экстракции сводится к разложению природного фосфатного сырья серной кислотой с последующим фильтрованием полученной пульпы для отделения фосфорной кислоты от выпавшего в осадок сульфата кальция [5].

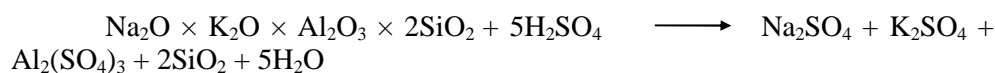
Для обеспечения достаточной подвижности экстракционной пульпы в экстрактор возвращают раствор разбавления, полученный смешиванием части продукционной фосфорной кислоты и фильтрата после промывки осадка на фильтре [6].

Разложение фосфатного сырья производится, таким образом, смесью водных растворов серной и фосфорной кислот по суммарному основному уравнению:

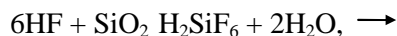


В зависимости от температуры и концентрации фосфорной кислоты в системе CaSO₄-H₃PO₄-H₂O сульфат кальция осаждается в виде дигидрата (m=2)-CaSO₄ × 2H₂O (гипс), полугидрата (m=0.5)-CaSO₄ × 0.5H₂O или ангидрита (m=0)-CaSO₄.

Одновременно с фосфатом разлагаются примеси алюмосиликатов с образованием сульфатов и диоксида кремния:



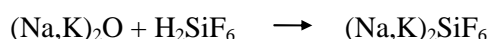
Выделившийся диоксид кремния реагирует с выделяющимся по основной реакции фторидом водорода HF с образованием кремнефтористоводородной кислоты:



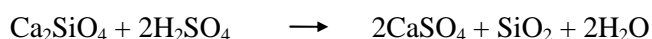
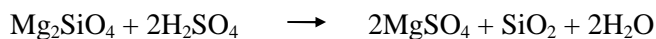
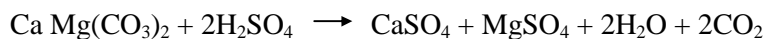
которая частично выделяется в газовую фазу в виде эквимолекулярной смеси $2\text{HF} + \text{SiF}_4$. Степень выделения фтора в газовую фазу увеличивается с повышением температуры. Соединения фтора, выделяющиеся в газовую фазу, абсорбируются водой с образованием раствора кремнефтористоводородной кислоты:



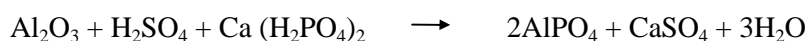
Частично остающаяся в растворе кремнефтористоводородная кислота взаимодействует с щелочными оксидами нефелина, глауконита и других растворимых минералов, образуя малорастворимые кремнефториды натрия и калия:



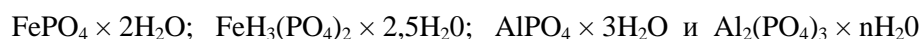
Карбонаты и силикаты кальция и магния разлагаются с образованием соответствующих сульфатов:



Соединения полуторных оксидов железа и алюминия растворяются в реакционной смеси с образованием соответствующих фосфатов:



При этом образуются перенасыщенные растворы, из которых медленно выделяются гидраты фосфатов железа и алюминия:



Примеси, содержащиеся в фосфатном сырье, осложняют процесс экстракции, ухудшают его показатели, снижают качество получаемой кислоты, увеличивают расход серной кислоты, подаваемой на разложение сырья. Имеет место внедрение фосфатов примесей в кристаллическую решетку сульфата кальция (т.н. сокристаллизация) [6].

Для исследования получения удобрения NPKS использовали:
 - экстракционную фосфорную кислоту (ЭФК) с содержанием $P_2O_5 = 20,6\%$;
 - коттрельное молоко, имеющий состав, представленный в таблице 1;
 - серную кислоту ($H_2SO_4 = 92\%$, $d = 1,82\text{г/см}^3$).

Таблица 1

Состав коттрельного молока

$P_2O_5, \%$	$CaO, \%$	$MgO, \%$	$Fe_2O_3, \%$	$Al_2O_3, \%$	$K_2O, \%$	pH	W, %
9,81	2,08	0,97	0,24	0,4	7,12	9,8	69,52

В лабораторных условиях процесс смешивания производился следующим образом: в экстракционную фосфорную кислоту (ЭФК) добавляли коттрельное молоко в соотношении 1:1, затем вводили серную кислоту в различных количествах.

Полученную суспензию аммонизировали газообразным аммиаком до $pH = 10,0$. Затем пульпу подупаривали на водяной бане. Высушенный при температуре 60°C продукт анализировался на содержание в нем питательных веществ. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты лабораторных исследований

ЭФК, г	Коттр. Молоко, г	H_2SO_4 , г	pH аммон. пульпы	Анализ готового продукта, % (в пересчете на сухое)					
				$P_2O_{5\text{общ.}}$	$P_2O_{5\text{усв.}}$	$P_2O_{5\text{вод}}$	Нам	S	K_2O
100	100	30	10,2	30,5	29,24	24,24	14,05	8,27	6,75
100	100	40	10,15	28,33	28,23	24,2	14,2	10,1	6,29
100	100	50	10,2	27,75	27,60	22,52	14,9	11,0	5,43
100	100	60	10,0	24,45	23,14	20,65	14,4	11,5	6,02
100	100	70	10,0	22,55	22,13	20,1	14,06	12,7	5,98
100	100	80	10,0	19,19	18,75	15,27	15,13	13,2	5,28
100	120	50	10,05	32,18	31,51	29,15	12,88	9,61	9,67

Как следует из приведенных данных из сульфоаммофосной пульпы с добавлением коттрельного молока можно получить комплексное удобрение NPKS со следующим сбалансированным содержанием питательных веществ $N : P_2O_5 : K_2O : S = 15:19:5:13$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдашов, Б. Коттрельное молоко [Текст] / Б. Алдашов, А. Лисица. – Алматы, 2007.
2. Производственные материалы ТОО «Казфосфат» Минеральные удобрения [Текст]. – Тараз.
3. Строчкий, О.В. Отходы производства суперфосфатного завода [Текст]: Утилизация / О.В. Строчкий. – М., 2001.
4. Окнина, В. А. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных удобрений, кормовых фосфатов, комплексных удобрений [Текст] / В.А. Окнина. – М.: Химия, 1975.

5. Лурье, Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод [Текст] / Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1973.
6. Окнина, В.А. Методы химического анализа фосфатных руд [Текст] / В.А. Окнина. – М.: Госхимиздат, 1961.

Материал поступил 14.11.13.

D. A. Kulbaeva, E. A. Baibazarova

Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan

PREPARATION OF COMPLEX FERTILIZER USING WASTE OF PHOSPHORIC PRODUCTION

The material will research on the production of complex mineral fertilizers with the content NPKS by involving cottrell milk in the production of mineral fertilizers. Utilization of wastes has the advantages because in the investigated solution plenty of nourishing elements such as phosphorus, potassium, sulphur and nitrogen.

Keywords: cottrell milk, dust, ammonia, sulfur, working solution, phosphoric acid, differential photometric method, flame photometric method, chloramine titrimetric method.

УДК 624.131.5

И.Я. Лучковский¹, А.В. Самородов²,

*¹Д-р техн. наук, ²Канд. техн. наук
Харьковский национальный университет строительства и архитектуры,
г. Харьков, Украина*

ЕДИНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ И ОСАДОК ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ

В статье предложена универсальная методика определения глубины сжимаемой толщи и осадок основания под фундаментами любых размеров в плане на основании многочисленных экспериментальных данных как натуральных испытаний, так и лабораторных исследований.

Ключевые слова: фундаменты, основания, деформация грунта, глубина сжимаемой толщи, методика определения глубины сжимаемой толщи, метод послойного суммирования, бытовое и дополнительное давление.

Как известно, задача достоверной оценки осадок фундаментов тесно связана с проблемой определения нижней границы активной зоны деформирования основания H , называемой в нормативной литературе [1] глубиной сжимаемой толщи. Экспериментальное изучение развития деформаций грунта под фундаментами и штампами различной формы и площади имеет вековую историю. Поэтому здесь упомянем лишь часть исследователей, чьи работы использованы в данной статье: Х.Р. Хакимов [2],

П.А. Коновалов [3, 4], В.Б. Швец [5], И.П. Бойко [6], Ю.Ф. Тугаенко [7], Б.И. Далматов [8], К.Е. Егоров [9, 10], А.В. Зиновьев [11], М.П. Дохнянский [12], Е.А. Сорочан [13], А.И. Догадайло [14], И.К. Самарин [15].

В соответствии с предложенной П.А. Коноваловым классификацией, остановимся на методах, устанавливающих глубину сжимаемой толщи H из соотношения дополнительного и бытового давления на ее нижней границе.

До настоящего времени существовала противоречивая практика проектирования, когда по СНиП 2.02.01-83 при расчете осадок оснований фундаментов шириной менее 10 м и шириной более 10 м применялись различные методики определения глубины сжимаемой толщи. Аналогичная ситуация сложилась и при расчете осадок оснований гидротехнических сооружений (по СНиП 2.02.02-85), имеющих ширину подошвы менее или более 20 м. Это приводит к парадоксальным случаям, когда на одной и той же строительной площадке приходится проектировать фундаменты различных размеров, зачастую оказывающих взаимное влияние, с использованием несогласованных нормативных требований.

По-видимому, К.Е. Егоровым [9] была впервые высказана идея о том, что с ростом площади фундамента A глубина сжимаемой толщи H стремится к некоторому постоянному значению, зависящему главным образом от глубины заложения фундамента d , интенсивности внешней нагрузки p и свойств грунта (рис. 1). Это в свою очередь позволяет сделать вывод о снижении соотношения $\frac{H}{\sqrt{A}}$ с ростом размеров фундаментов (см. рис. 1).

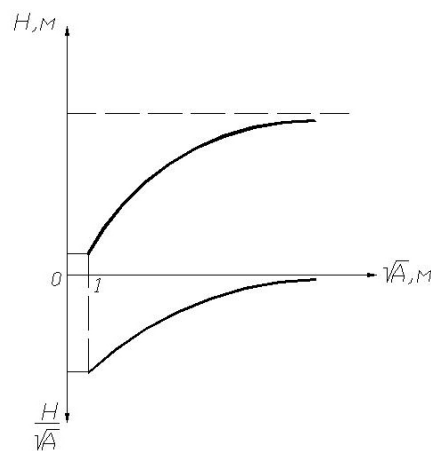


Рис. 1. Предполагаемые зависимости глубины сжимаемой толщи H и соотношения $\frac{H}{\sqrt{A}}$ от размеров фундамента \sqrt{A} (при $d=const$; $p=const$)

Несмотря на это, в советских нормах [16] для широких фундаментов ($b \geq 10$ м) принималась линейная зависимость H от ширины фундамента

$$H = (H_0 + \psi b) K_p, \quad (1)$$

где: H_0 и ψ – константы, зависящие от типа грунта; K_p – коэффициент интенсивности нагрузки p .

Следовательно, соотношение H/b имеет вид

$$H/b = (H_0/b + \psi)K_p, \quad (2)$$

Что же касается обычных фундаментов шириной менее 10 м, то использование для определения нижней границы сжимаемой толщи постоянного соотношения дополнительного и бытового давлений, не зависящего от ширины фундаментов b

$$K_n = \sigma_{zp} / \sigma_{zg} = 0,2,$$

или $K_n = 0,1$ (для слабых грунтов с модулем $E < 5$ МПа) приводит к существенному увеличению H и соотношения H/b .

В современных же украинских нормах ДБН [1] коэффициент $k = K_n$ также принимается в зависимости от соотношения $K_n = \sigma_{zp} / \sigma_{zg} = 0,2$ для фундаментов шириной $b \leq 5$ м и $K_n = 0,5$ для фундаментов шириной $b > 20$ м, а для промежуточных значений ширины подошвы $5 \text{ м} < b \leq 20 \text{ м}$ – по интерполяции.

Экспериментальные исследования П.А. Коновалова, Б.И. Далматова, А.В. Голли, В.М. Чикишева, Ю.М. Тугаенко и др. ученых показали, что структурная прочность грунтов с глубиной заметно возрастает. В экспериментах П.А. Коновалова соотношение K_n составляло около $K_n = 0,83$, а у А.В. Голли – еще выше. Поэтому, учитывая, что с ростом ширины фундаментов возрастает и сжимаемая толщина H , вполне объяснима необходимость дифференциации коэффициента K_n в зависимости от размеров подошвы фундамента b , что приводит для крупноразмерных фундаментов при $b > 20$ м к значениям коэффициента $K_n > 0,5$.

Анализ большого объема испытаний оснований штампами различных размеров, площадью до 16 м^2 , а также натурных исследований деформирования дымовых труб, башен, атомных электростанций, силосных корпусов и др. сооружений шириной (диаметром) до 80 м позволил предложить для назначения коэффициента K_n (для обычных грунтов с $E > 5$ МПа) зависимость

$$K_n = 0,2 + th(0,09 \ln b) \approx 0,0841 \ln b + 0,2085, \quad (3)$$

которая на рисунке 2 представлена графически.

Таким образом, принимаемое нами **первое расчетное положение** состоит в том, что соотношение K_n дополнительного и бытового давлений на границе сжимаемой толщи нелинейно возрастает с ростом ширины фундаментов по закону (3).

Другими не менее важными аспектами перехода к более достоверной методике определения H и осадок фундаментов являются требования к определению бытового и дополнительного давления по глубине сжимаемой толщи.

В ДБН [1] для обычных зданий и сооружений бытовое давление определяется без учета откопки котлована, а при проектировании гидротехнических сооружений шириной более $b \geq 20$ м бытовое давление рассчитывается от веса грунта, залегающего ниже дна котлована, что соответствует полному разуплотнению грунта.

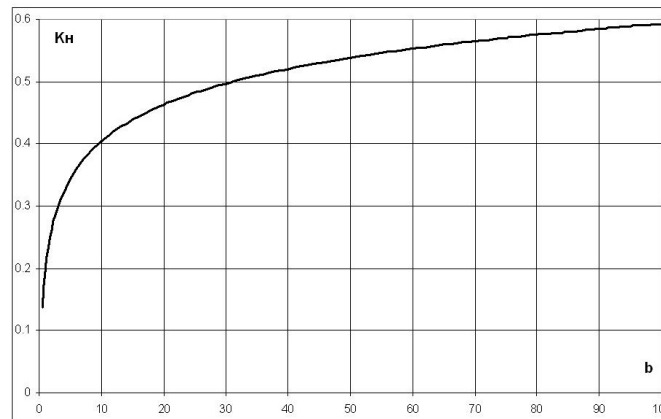


Рис. 2. График зависимости коэффициента K_n от ширины фундамента b

Нами была уточнена таблица 62 «Пособия» [16] по определению давления разуплотнения [17], и с использованием полученных результатов рассмотрен ряд характерных фундаментов, для которых построены эпюры первоначального бытового давления σ_{zg} и сложившегося после откопки котлована – σ'_{zg} . При этом принималось, что размеры подошвы фундамента совпадают с размерами котлована в плане – L и B . В этом случае, например, для ленточного фундамента шириной и глубиной 2 м на нижней границе сжимаемой толщи ($H \approx 8$ м) $\sigma'_{zg} = 0,97\sigma_{zg}$, т.е. бытовое давление практически не изменяется. Если же рассмотреть квадратную фундаментную плиту шириной $B=40$ м и глубиной заложения $D=6$ м, то в центре фундамента, на границе активной зоны ($H=22$ м) получим $\sigma'_{zg} = 0,86\sigma_{zg}$. Естественно, что в краевых зонах плиты давление почти полностью сохраняется, т.к. разуплотнение грунта у границ котлована незначительное.

Если даже рассмотреть основание Волжской ГЭС [15] с шириной котлована около 100 м и глубиной сжимаемой толщи порядка $H=75 \div 85$ м, то и в этом случае получим $\sigma'_{zg} = 0,9\sigma_{zg}$.

Следовательно, для широкого диапазона применяемых фундаментов можно принять **второе расчетное положение**: при определении глубины сжимаемой толщи бытовое давление на нижней границе H может определяться без учета откопки котлована.

Остановимся теперь на вопросе, связанном с назначением среднего давления под подошвой фундамента p_0 , являющимся исходным для определения глубины сжимаемой толщи и осадки фундамента. В советских нормах для узких фундаментов [16] принималось

$$p_0 = p - \sigma_{zg0} = p - \gamma_{cp} d, \quad (4)$$

а для широких гидротехнических сооружений (при $b > 20$ м) – $p_0 = p$, т.е. полная внешняя нагрузка, как и в новых украинских ДБН [1].

Многочисленные экспериментальные исследования [2, 3, 7, 8] и др. свидетельствуют о том, что осадки сжимаемой толщи в основном вызваны уплотнением грунта и большая их часть (80÷95%) являются необратимыми. Ниже активной зоны возникают очень незначительные восстанавливающиеся (обратимые) деформации, где дополнительные вертикальные напряжения не превосходят структурной прочности грунта.

Естественно, что при возведении подземной части зданий и сооружений осадки фундаментов, в основном, развиваются после преодоления возрастающей в процессе строительства нагрузкой структурной прочности грунта в уровне дна котлована. Структурная же прочность, как было отмечено выше, с глубиной возрастает. Поэтому наиболее логично принять для дна котлована наименьшее значение коэффициента K_n , равное $K_n^{min}=0,2$ (в обычных грунтах).

Это позволяет сформулировать третье расчетное положение по определению дополнительного вертикального давления на основании

$$p_0 = p - 0,2\sigma_{zg_0}. \quad (5)$$

Четвертое принимаемое нами **расчетное положение** используется во всех нормативных документах и состоит в том, что при определении активной зоны распределение дополнительного давления σ_{zp} по глубине массива определяется по модели полупространства, без учета неравномерности напластований грунта (в работе [18] нами было дано решение для неоднородного слоя).

Теперь переходим непосредственно к предлагаемой методике определения глубины сжимаемой толщи H . Рассматриваем фундамент различных размеров и формы (квадратный, прямоугольный, ленточный, круглый), имеющий ширину (диаметр) b , опирающийся на многослойное основание (рис. 3).

Условие для определения нижней границы сжимаемой толщи представим в виде

$$\sigma_{Hg} \cdot K_n = \sigma_{Hp}, \quad (6)$$

где: σ_{Hg} – бытовое давление на нижней границе сжимаемой толщи; σ_{Hp} – дополнительное давление на нижней границе сжимаемой толщи.

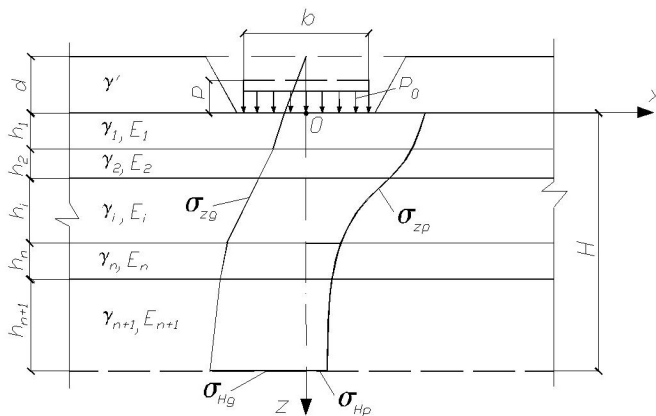


Рис. 3. Расчетная схема к определению глубины активной зоны H

С учетом принятых расчетных положений (допущений) равенство (6) для многослойного основания принимает вид

$$\left(\gamma' d + \sum_1^n h_i \gamma_i + \gamma_{n+1} h_{n+1} \right) K_H = \alpha(\zeta_H, \eta) \cdot p_0, \quad (7)$$

где $\alpha(\zeta_H, \eta)$ – коэффициент, принимаемый по табл. Д.1 [1] в зависимости от относительной глубины $\zeta_H = 2H/b$ и соотношения сторон $\eta = l/b$.

Выразив h_{n+1} в виде

$$h_{n+1} = H - \sum_1^n h_i = \frac{\zeta_H b}{2} - \sum_1^n h_i$$

и обозначив

$$D = \frac{\left(\gamma' d + \sum_1^n h_i \gamma_i - \gamma_{n+1} \sum_1^n h_i \right)}{p_0} K_H; \quad (8)$$

$$f = \frac{\gamma_{n+1} b K_H}{2 p_0}; \quad (9)$$

$$F(\zeta_H, \eta, f) = [\alpha(\zeta_H, \eta) - f \cdot \zeta_H], \quad (10)$$

получим исходное уравнение для определения H :

$$F(\zeta_H, \eta, f) = D. \quad (11)$$

На основании формулы (10) нами составлены таблицы 1, 2 и 3 функции F для фундаментов различной формы (круг, квадрат, полоса), которые позволяют существенно упростить вычисление H .

Последовательность расчета такова:

- задавшись слоем $(n+1)$, внутри которого ожидается нижняя граница активной зоны, вычисляют величины p_0, f и D ;

- по найденным значениям находят в соответствующих таблицах величину F , наиболее близкую к D , и соответствующие значения α и $\zeta_H = 2H/b$;

- по формуле (10) вычисляют функцию F и сравнивают с величиной D , проверяя равенство (11);

- если равенство не соблюдается, то при $F > D$ принимают большее значение ζ_H , а при $F < D$ – меньшее ζ_H и повторяют расчет;

- найдя ζ_H , удовлетворяющее равенству (11), вычисляют глубину активной зоны по формуле

$$H = \frac{\zeta_H \cdot b}{2}.$$

Если в результате вычислений нижняя граница попадает в слой $(n+1)$, отличный от исходного, расчет следует уточнить.

В качестве примера рассмотрим дымовую трубу на круглом фундаменте диаметром $b=23$ м (см. [19], стр. 628) при следующих исходных данных: $d=5,8$ м; $\gamma=1,9$ тс/м³; $p=28$ тс/м²; $h_1=4,2$ м; $\gamma_1=1,9$ тс/м³; $E_1=150$ кгс/см²; $h_2=5,0$ м; $\gamma_2=1,75$ тс/м³; $E_2=200$ кгс/см²; $h_3=6,0$ м; $\gamma_3=1,8$ тс/м³; $E_3=400$ кгс/см².

Вычисляем давление p_0 по формуле (5)

$$p_0 = 28 - 0,2 \cdot 1,9 \cdot 5,8 = 25,8 \text{ тс/м}^2.$$

По формуле (3) находим значение $K_H = 0,475$.

Предполагаем, что нижняя граница H проходит в пределах третьего слоя и вычисляем величины f и D по формулам (9) и (8):

$$f = \frac{1,8 \cdot 23 \cdot 0,475}{2 \cdot 25,8} = 0,381;$$

$$D = \frac{[1,9 \cdot 5,8 + (1,9 \cdot 4,2 + 1,75 \cdot 5) - 1,8(4,2 + 5)]}{25,8} \cdot 0,475 = 0,206.$$

Далее по таблице 2 для круглых фундаментов и найденных значений f и D находим близкое значение $\zeta_H = 1,2$ и соответствующее ему $\alpha = 0,547$, а затем вычисляем F по формуле (10): $F = 0,547 - 0,381 \cdot 1,2 = 0,09 < D$.

Так как $F < D$, уменьшаем ζ_H , принимая $\zeta_H = 1,1$, $\alpha = 0,599$, и вычисляем

$$F = 0,599 - 0,381 \cdot 1,1 = 0,18 < D.$$

Принимаем окончательно $\zeta_H \approx 1,08$ и находим H

$$H = \frac{1,08 \cdot 23}{2} \approx 12,4 \text{ м}.$$

Следовательно, как и было принято, нижняя граница активной зоны проходит в третьем слое.

Определим осадку фундамента с использованием таблицы 59 [16]. Предварительно находим на границе слоев:

$$\zeta_1 = \frac{2 \cdot 4,2}{23} = 0,365; \quad K_1 = 0,082; \quad \zeta_2 = \frac{2 \cdot 9,2}{23} = 0,8; \quad K_2 = 0,179;$$

$$\zeta_3 = \zeta_H = 1,08; \quad K_3 = 0,24,$$

а затем вычисляем осадку фундамента S

$$S = 2300 \cdot 2,58 \left(\frac{0,082}{150} + \frac{0,179 - 0,082}{200} + \frac{0,24 - 0,179}{400} \right) = 7,03 \text{ см},$$

что близко к $S_{\text{нат.}} \approx 7,5 \text{ см}$ по данным натуральных наблюдений [19].

Для иллюстрации достоверности применения представленного общего метода определения глубины сжимаемой толщи H для фундаментов любых реальных размеров и формы, нагруженных в стадии эксплуатации средними нагрузками $1 \div 5 \text{ кгс/см}^2$, построены теоретические зависимости H и H/b от ширины фундамента, на которые нанесены данные многочисленных наблюдений (рис. 4).

Здесь же нанесены нормативные зависимости для фундаментов обычных зданий и сооружений, а также гидротехнических сооружений.

Кроме того, нами вычислялись осадки построенных объектов, которые оказались достаточно близкими к данным натурных измерений. При этом в расчете осадок использовались компрессионные значения модулей деформации грунтов основания.

Выводы:

1. Разработана единая методика определения глубины сжимаемой толщи основания H фундаментов любых размеров, на основе которой получаются достоверные значения осадок и усилий в фундаментах на естественном основании.

2. Предложенная методика определения глубины сжимаемой толщи существенно упрощает метод послойного суммирования, т.к. не требует разделения инженерно-геологических элементов на отдельные слои.

Таблица 1

Значения F для квадрата ($\gamma=1$)

$\xi=2H/b$	α	Значения F при f , равном																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1,0	0,703	0,698	0,693	0,688	0,683	0,663	0,643	0,623	0,603	0,553	0,503	0,403	0,303	0,203	0,103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,8	0,800	0,796	0,792	0,788	0,784	0,768	0,752	0,736	0,720	0,680	0,640	0,560	0,480	0,400	0,320	0,160	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,6	0,880	0,877	0,874	0,871	0,868	0,856	0,844	0,832	0,820	0,790	0,760	0,700	0,640	0,580	0,520	0,400	0,280	0,160	0,040	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4	0,960	0,958	0,956	0,954	0,952	0,944	0,936	0,928	0,920	0,900	0,880	0,840	0,800	0,760	0,720	0,640	0,560	0,480	0,400	0,320	0,240	0,160	0,080	0	-	-	-
1	0,005	0,010	0,015	0,020	0,040	0,060	0,080	0,100	0,150	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,800	1,000	1,200	1,400	1,600	1,800	2,000	2,200	2,400	-	-	-	
2,4	0,257	0,245	0,233	0,221	0,209	0,161	0,113	0,065	0,017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,2	0,296	0,285	0,274	0,263	0,252	0,208	0,164	0,140	0,096	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,0	0,336	0,326	0,316	0,306	0,296	0,256	0,216	0,176	0,136	0,036	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,8	0,392	0,383	0,374	0,365	0,356	0,390	0,284	0,248	0,212	0,122	0,032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,6	0,449	0,441	0,433	0,425	0,417	0,385	0,353	0,321	0,289	0,209	0,129	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,4	0,527	0,520	0,513	0,506	0,499	0,471	0,443	0,415	0,387	0,317	0,247	0,107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,2	0,606	0,600	0,594	0,588	0,582	0,558	0,534	0,510	0,486	0,426	0,366	0,246	0,126	0,006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2,6	2,29	2,16	2,03	1,90	1,77	1,65	1,53	1,42	1,32	1,23	1,15	1,08	1,02	0,96	0,91	0,86	0,81	0,77	0,73	0,69	0,65	0,61	0,57	0,54
2,8	2,20	2,07	1,94	1,81	1,68	1,56	1,45	1,35	1,26	1,18	1,11	1,04	0,98	0,93	0,88	0,83	0,79	0,75	0,71	0,67	0,63	0,59	0,55	0,52
3,0	1,80	1,67	1,54	1,41	1,28	1,16	1,05	0,95	0,86	0,78	0,71	0,64	0,58	0,53	0,48	0,44	0,40	0,36	0,32	0,28	0,24	0,20	0,17	0,14
3,2	0,160	0,144	0,128	0,112	0,096	0,080	0,064	0,048	0,032	0,016	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,4	0,145	0,128	0,111	0,094	0,077	0,060	0,043	0,026	0,009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,6	0,131	0,113	0,095	0,077	0,059	0,041	0,023	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,8	0,119	0,100	0,081	0,062	0,043	0,024	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,0	0,108	0,098	0,078	0,058	0,038	0,018	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,2	0,099	0,078	0,057	0,036	0,015	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,4	0,091	0,069	0,047	0,025	0,011	0,002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,6	0,084	0,061	0,041	0,021	0,009	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,8	0,077	0,053	0,034	0,016	0,005	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,0	0,072	0,047	0,029	0,013	0,004	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,2	0,067	0,041	0,024	0,010	0,003	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,4	0,062	0,035	0,021	0,008	0,002	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2

Значения F для круга

$\xi=2H/D$	R	Значения F при f равном
0,4	1	
0,949	2	
0,947	3	
0,945	4	
0,943	5	
0,941	6	
0,933	7	
0,925	8	
0,917	9	
0,909	10	
0,889	11	
0,869	12	
0,829	13	
0,789	14	
0,749	15	
0,709	16	
0,629	17	
0,549	18	
0,469	19	
0,389	20	
0,309	21	
0,229	22	
0,149	23	
0,069	24	
-	25	

Продолжение табл. 2

3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	1
0,096	0,106	0,118	0,130	0,147	0,165	0,189	0,214	0,247	0,285	0,337	0,390	0,468	0,547	0,651	0,756	0,852	2
0,077	0,088	0,101	0,114	0,132	0,151	0,176	0,202	0,238	0,275	0,328	0,382	0,461	0,541	0,646	0,752	0,849	3
0,058	0,070	0,084	0,098	0,117	0,137	0,163	0,190	0,227	0,265	0,319	0,374	0,454	0,535	0,641	0,748	0,846	4
0,039	0,052	0,067	0,082	0,102	0,123	0,150	0,178	0,216	0,255	0,310	0,366	0,447	0,529	0,636	0,744	0,843	5
0,030	0,034	0,050	0,066	0,087	0,109	0,137	0,166	0,205	0,245	0,301	0,358	0,440	0,523	0,631	0,740	0,840	6
-	-	-	0,002	0,027	0,054	0,085	0,118	0,161	0,205	0,265	0,326	0,412	0,499	0,611	0,724	0,828	7
-	-	-	-	-	-	0,033	0,070	0,117	0,165	0,229	0,294	0,384	0,475	0,591	0,708	0,816	8
-	-	-	-	-	-	-	0,022	0,073	0,125	0,193	0,262	0,356	0,451	0,571	0,792	0,804	9
-	-	-	-	-	-	-	-	0,029	0,085	0,157	0,230	0,328	0,427	0,551	0,676	0,792	10
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,067	0,150	0,258	0,367	0,501	0,636	0,762	11
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,070	0,188	0,307	0,451	0,596	0,732	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,048	0,187	0,351	0,516	0,672	13
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,067	0,251	0,436	0,612	14
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,151	0,356	0,552	15
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,051	0,276	0,492	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,116	0,372	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,252	18
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,132	19
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,012	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
5,4	5,2	5,0	4,8	4,6	4,4	4,2	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0							
0,231	0,239	0,248	0,258	0,269	0,280	0,293	0,306	0,321	0,337	0,355	0,374	0,397	0,420	0,448	0,477	0,513	0,550							
0,204	0,213	0,223	0,234	0,246	0,258	0,272	0,286	0,302	0,319	0,338	0,358	0,382	0,406	0,435	0,465	0,502	0,540							
0,177	0,187	0,198	0,210	0,223	0,236	0,251	0,266	0,283	0,301	0,321	0,342	0,367	0,392	0,422	0,453	0,491	0,530							
0,150	0,161	0,173	0,186	0,200	0,214	0,230	0,246	0,264	0,283	0,304	0,326	0,352	0,378	0,409	0,441	0,480	0,520							
0,123	0,135	0,148	0,162	0,177	0,192	0,209	0,226	0,245	0,265	0,287	0,310	0,337	0,364	0,396	0,429	0,469	0,510							
0,015	0,031	0,048	0,066	0,085	0,104	0,125	0,146	0,169	0,193	0,219	0,246	0,277	0,308	0,344	0,381	0,425	0,470							
-	-	-	-	-	0,016	0,041	0,066	0,093	0,121	0,151	0,182	0,217	0,252	0,292	0,333	0,381	0,430							
-	-	-	-	-	-	-	-	0,017	0,049	0,083	0,118	0,157	0,196	0,240	0,285	0,337	0,390							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,015	0,054	0,097	0,140	0,188	0,237	0,293	0,350							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,058	0,117	0,183	0,250							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,073	0,150							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							

Продолжение табл. 3

9,0	8,8	8,6	8,4	8,2	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2	6,0	5,8	5,6	1
0,140	0,143	0,147	0,150	0,154	0,158	0,162	0,166	0,170	0,175	0,180	0,185	0,190	0,196	0,202	0,208	0,215	0,223	2
0,095	0,099	0,104	0,108	0,113	0,118	0,123	0,128	0,133	0,139	0,145	0,151	0,157	0,164	0,171	0,178	0,186	0,195	3
0,050	0,055	0,061	0,066	0,072	0,078	0,084	0,090	0,096	0,103	0,110	0,117	0,124	0,132	0,140	0,148	0,157	0,167	4
0,005	0,011	0,018	0,024	0,031	0,038	0,045	0,052	0,059	0,067	0,075	0,083	0,091	0,100	0,109	0,118	0,128	0,139	5
-	-	-	-	-	-	0,006	0,014	0,022	0,031	0,040	0,049	0,058	0,068	0,078	0,088	0,099	0,111	6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25

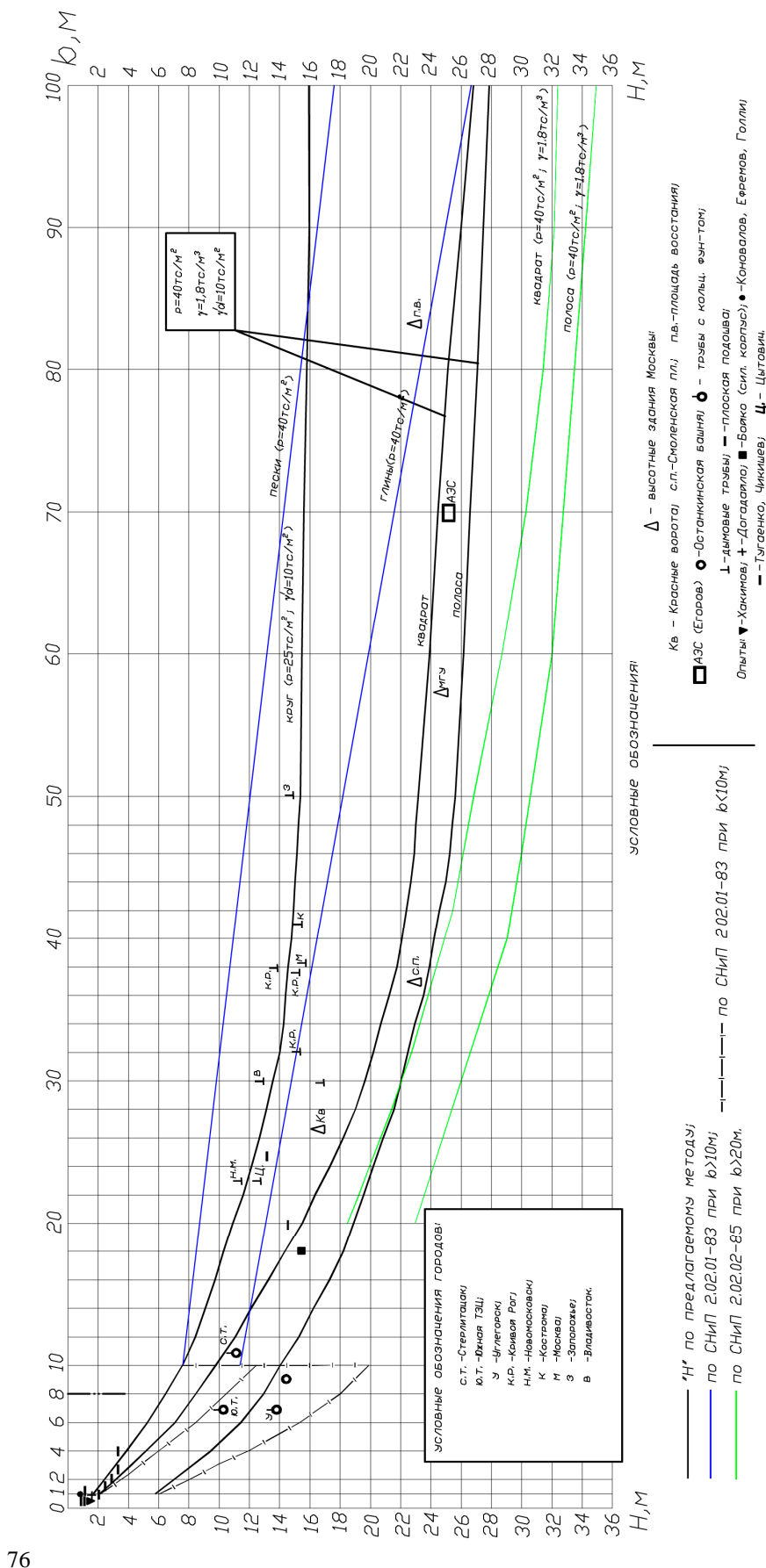


Рис. 4. Зависимости H и H/b от ширины фундамента b

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд [Текст]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
2. Хакимов, Х.Р. Экспериментальные исследования мощности несущего слоя основания [Текст] / Х.Р. Хакимов // Вопросы расчета оснований и фундаментов: сб. тр. / НИС фундаментостроения, №9. – М.; Л.: Стройиздат, 1938. – С. 7-23.
3. Коновалов, П.А. Исследование глубины деформируемой зоны грунта под штампами в полевых условиях [Текст] / П.А. Коновалов // Основания и фундаменты: сб. тр. / НИИОСП, №54. – М.: Стройиздат, 1964. – С. 14-26.
4. Коновалов, П.А. Экспериментальное исследование глубины сжимаемой толщи грунта [Текст] / П.А. Коновалов // Основания, фундаменты и подземные сооружения: сб. тр. / НИИОСП. – М.: Стройиздат, 1967. – С. 137-142.
5. Швец, В.Б. Экспериментальное исследование глубины сжимаемой толщи под подошвой штампа [Текст] / В.Б. Швец, Г.Б. Кульчицкий // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1970. – №1. – С. 10-12.
6. Бойко, И.П. Натурные измерения деформаций оснований фундаментной плиты [Текст] / И.П. Бойко, А.О. Олейник // Основания и фундаменты. В 12. – К.: Будівельник, 1979. – С. 5-8.
7. Тугаенко, Ю.Ф. Развитие деформаций в основаниях фундаментов, способы их ограничения и методы оценки [Текст] / Ю.Ф. Тугаенко. – Одесса: Астропринт, 2003. – 222 с.
8. Далматов, Б.И. Полевые исследования напряженно-деформированного состояния глинистых грунтов [Текст] / Б.И. Далматов, А.В. Голли, В.М. Чикишев, В.Ф. Сидорчук // Труды Дунайско-Европейской конференции по механике грунтов и фундаментостроению. Том 1. – Кишинев, 1983. – С. 223-230.
9. Егоров, К.Е. Осадки фундаментов высотных зданий [Текст] / К.Е. Егоров // Механика грунтов: сб. тр. / НИИОСП. Вып. 24. – М.: Стройиздат, 1954. – С. 4-22.
10. Егоров, К.Е. Закономерности деформирования основания фундаментов, имеющих большую площадь [Текст] / К.Е. Егоров, Н.С. Соколов // Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении: сб. тр. / НИИОСП. Т. II. – М.: Стройиздат, 1987. – С. 90-91.
11. Зиновьев, А.В. О деформации оснований под кольцевыми фундаментами сооружений башенного типа [Текст] / А.В. Зиновьев, О.В. Китайкина // Тр. ин-та НИИ оснований и подземных сооружений. – 1980. Вып. 72. – С. 79-95.
12. Дохнянский М.П. Экспериментальные исследования сжимаемой толщи в основании круглых жестких фундаментов [Текст] / М.П. Дохнянский // Основания, фундаменты и подземные сооружения: сб. тр. / НИИОСП. Вып. 72. – М.: Стройиздат, 1967. – С. 95-103.
13. Сорочан, Е.А. Фундаменты промышленных зданий [Текст] / Е.А. Сорочан. – М.: Стройиздат, 1986. – 304 с.
14. Догадайло, А.И. Исследование характера формирования объемной деформации грунта в основании штампов разной площади [Текст] / А.И. Догадайло // Будівельні конструкції. Вип. 61. Т. 1. – К.: НДБК, 2004. – С. 67-72.

15. Самарин, И.К. О сжимаемой толще оснований гидротехнических сооружений по данным натурных наблюдений за их осадками [Текст] / И.К. Самарин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1962. – №6.
16. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений [Текст]: (к СНиП 2.02.01-83) / НИИОСП им. Герсеванова. – М.: Стройиздат, 1986. – 415 с.
17. Лучковский, И.Я. Разуплотнение грунта при откопке котлованов [Текст] / И.Я. Лучковский, С.А. Плащев // Материалы II международной конференции «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд». Вип. 33. – Харків: ХДТУБА, 2005. – С. 206-211.
18. Лучковский, И.Я. Методика определения осадок фундаментов без послойного суммирования [Текст] / И.Я. Лучковский, А.В. Самородов // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій Держбуду України. Т. 1. – К.: НДІБК, 2004. – Вип. 61. – С. 378-385.
19. Цытович, Н.А. Механика грунтов [Текст] / Н.А. Цытович. – М.: Госстройиздат, 1963. – 636 с.

Материал поступил 25.12.13.

I.Y. Luchkovskiy, A.V. Samorodov

Kharkov National University of Construction and Architecture, Kharkov, Ukraine

UNIFORM METHOD OF DETERMINATION OF DEPTH COMPRESSIBLE SEQUENCE AND DEPOSIT SUBFOUNDATION

The article suggests a universal technique for determining the depth of the compressible layer and sediment for foundation of all sizes in the plan on the basis of numerous experimental data as field tests and laboratory tests.

Keywords: foundations, bases, ground deformation, depth compressible strata, method of determining the depth of compressible strata, stratified method of summation, domestic and extra pressure.

УДК 544.18:544.3

**С.З. Матеева¹, Б.Б. Каракойшиева², С.М. Қантарбаева³,
К.К. Оспанкулова⁴**

¹Канд. хим. наук, доц., ²Лаборант, ³Магистр, ст. преподаватель, ⁴Магистрант
Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз

КОНСТАНТЫ ОБРАЗОВАНИЯ РАЗНОЛИГАНДНЫХ КОМПЛЕКСОВ КОБАЛЬТА

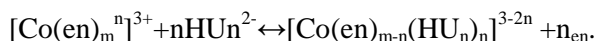
В данной работе в качестве исходных компонентов были использованы аминокомплексы $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ и $[\text{Co}(\text{en})_3]\text{Cl}_3$, а также некоторые их производные, содержащие во внутренней сфере галогенид-ионы. В предлагаемой работе представляется интересным исследование системы $\text{Co}(\text{III})$ – унитиол, где изначально ставится

проблема изучения конкурирующего комплексообразования с образованием смешаннолигандных комплексов.

Ключевые слова: термодинамическая устойчивость, бидентатность, степень диссоциации.

В результате проведенных исследований оба лиганда являются бидентатными и занимают в координационной сфере кобальта по два места.

Реакции замещения имеют вид



Константы равновесия данных реакций вычисляли как отношение равновесных концентраций унитиола и этилендиамина, при которых функции образования $n_{\text{HUn}^{2-}}$ и n_{en} имеют значения $m+1/2$ и $n-1/2$ (m и n – целые числа). В указанных растворах в равных количествах существуют комплексы $[\text{Co}(\text{en})_m(\text{HUn})_n]^{3-2n}$ и $[\text{Co}(\text{en})_{m-1}(\text{HUn})_{n+1}]^{3-2(n+1)}$.

В данном случае в реакции замещения один бидентатный лиганд – этилендиамин замещается на другой – унитиол и в ходе процесса суммарная функция образования остается постоянной, близкой к трем, и общая кривая образования $n_{\text{en}} + n_{\text{HUn}^{2-}}$ имеет практически горизонтальный вид.

Константы образования разнолигандных комплексов кобальта с этилендиамином и унитиолом найдены путем комбинации константы устойчивости комплекса $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$, которая по данным [1] составляет 48,69, с определенными константами равновесия (табл. 1). Проведение эксперимента при трех значениях ионной силы позволило установить термодинамические константы устойчивости разнолигандных комплексов кобальта (III) с унитиолом и этилендиамином, а также унитиолатного комплекса $[\text{Co}(\text{HUn})_3]^{3-}$ (табл. 2).

Таблица 1

Константы реакций комплексообразования и константы устойчивости разнолигандных комплексов в системе $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$ - HUn^{2-} при 298 К, $\mu=0,1$ (NaClO_4)

Реакция	n_{en}	$n_{\text{HUn}^{2-}}$	$p[\text{en}]$	$p[\text{HUn}^{2-}]$	$\lg K_c$	$\lg \beta$
$[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+} + \text{HUn}^{2-} \leftrightarrow \text{Co}(\text{en})_2(\text{HUn})^+ + \text{en}$	2,52	0,50	12,39	15,42	3,03	51,72
$\text{Co}(\text{en})_2(\text{HUn})^+ + \text{HUn}^{2-} \leftrightarrow \text{Co}(\text{en})(\text{HUn})_2 + \text{en}$	1,49	1,51	10,91	13,53	2,62	54,34
$[\text{Co}(\text{en})(\text{HUn})_2]^+ + \text{HUn}^{2-} \leftrightarrow \text{Co}(\text{HUn})_3^{3-} + \text{en}$	0,53	2,52	9,54	10,26	0,72	55,06

Таблица 2

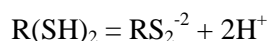
Логарифмы констант образования комплексных соединений в системе $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+} + \text{HUn}^{2-}$ при 298 К в зависимости от ионной силы раствора

Соединение	Ионная сила (NaClO_4)			
	0	0,1	0,3	0,5
$[\text{Co}(\text{en})_2(\text{HUn})]^+$	52,03±0,31	51,69±0,3	51,31±0,34	50,92±0,35
$[\text{Co}(\text{en})(\text{HUn})_2]^+$	54,64±0,29	54,30±0,27	53,91±0,31	53,55±0,32
$\text{Co}(\text{HUn})_3^{3-}$	55,46±0,44	54,97±0,42	54,51±0,40	54,04±0,45

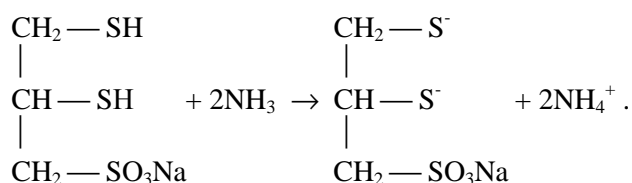
Можно видеть, что в обеих исследуемых системах образуется один и тот же конечный продукт замещения, а именно унитиолатный комплекс кобальта (III) состава 1:3. Полученные для него двумя путями значения константы устойчивости сходятся между собой в пределах ошибки эксперимента. Данное соединение характеризуется значительной термодинамической устойчивостью, хотя при длительном стоянии раствора разрушается за счет внутримолекулярной окислительно-восстановительной реакции. Со (III) восстанавливается до Со (II), а унитиол окисляется до дисульфида. При этом в растворе возможно протекание комплексообразования между двухвалентным кобальтом и унитиолом. Это объясняется тем, что степень диссоциации SH-группы обратно пропорциональна квадрату концентрации ионов водорода [2]:

$$\alpha = \frac{K}{[H^+]^2},$$

поэтому чем выше рН раствора, тем больше сдвинуто равновесие реакции:

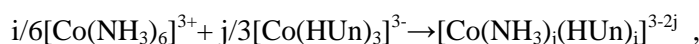


в сторону образования реакционноспособных меркаптидных ионов:



Аммиак, отнимая ионы водорода от молекулы унитиола, увеличивает количество реакционноспособных анионов унитиола и одновременно тонко регулирует рН раствора. В данном случае действие аммиака связано с его способностью образовывать комплексные соединения с кобальтом, так как их устойчивость меньше устойчивости унитиолатного комплекса кобальта.

Весьма важной характеристикой для смешаннолигандных комплексов, помимо константы образования, является константа сопропорционирования K_d , характеризующая относительную устойчивость смешаннолигандных соединений по сравнению с соединениями с одинаковыми лигандами [2]. Она определяется как константа равновесия реакции образования смешанного комплекса из двух монолигандных соединений, например:



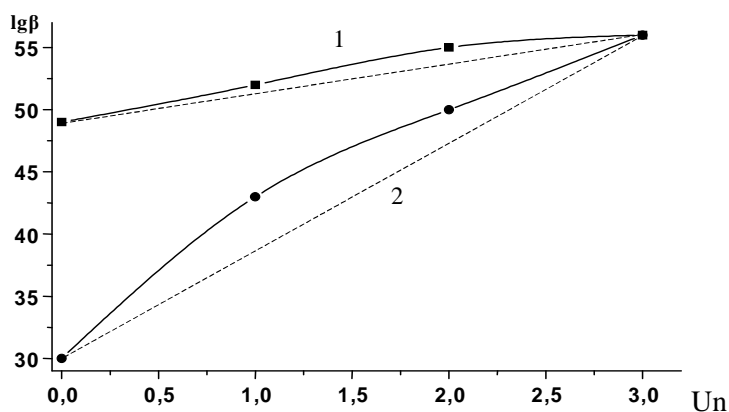
$$K_d = [Co(NH_3)_i(HUn)_j]^{3-2j} / [Co(NH_3)_6]^{3+j/6} [Co(HUn)_3]^{j/3}.$$

Связь между константами образования и сопропорционирования выражается уравнением

$$K_d = \beta_{ji} / \beta_{mo}^{j/m} \cdot \beta_{om}^{i/m},$$

где β_{ji} , β_{mo} и β_{om} – константы образования смешаннолигандного и монолигандного комплексов.

Константу сопропорционирования можно рассматривать как меру совместимости разнородных лигандов в одной координационной сфере. На рисунке 1 представлена зависимость констант образования разнолигандных комплексов $[\text{Co}(\text{NH}_3)_m(\text{HUn})_n]^{3-2n}$ и $[\text{Co}(\text{en})_m(\text{HUn})_n]^{3-2n}$ от числа координированных молекул унитиола.



1 – в системе $[\text{Co}(\text{en})_3]^{+3}\text{-HUn}^{-2}$; 2 – в системе $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{+3}\text{-HUn}^{-2}$

Рис. 1. Зависимость констант образования смешаннолигандных комплексов от числа координированных групп унитиола

Пунктирные линии соответствуют теоретическим зависимостям констант устойчивости от состава комплекса, полученным из условия аддитивности в случае отсутствия взаимного влияния лигандов. Можно видеть, что экспериментальные кривые представляют собой параболы, обращенные вершинами вверх, что соответствует совместимости лигандов NH_3 и HUn^{2-} и en и HUn^{2-} в одной координационной сфере. Значения $\lg K_d$, приведены в таблице 3.

Таблица 3

Константа сопропорционирования разнолигандных комплексных частиц

Комплексные частицы	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_4(\text{HUn})]^+$	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_2(\text{HUn})_2]^-$	$[\text{Co}(\text{en})_2(\text{HUn})]^+$	$[\text{Co}(\text{en})(\text{HUn})_2]^-$
$\lg K_d$	1,57	1,07	1,09	0,77

Представленные результаты указывают на то, что унитиол вступает в конкуренцию с аминами за обладание валентными орбиталями центрального атома и обладает большей способностью к образованию ковалентных связей.

Проигрыш энергии за счет расслабления одной из связей окупается эффектом упрочнения другой связи, в результате чего смешаннолигандные соединения устойчивы в растворе и самопроизвольно образуются из монолигандных комплексов.

По принципу жестких и мягких кислот и оснований Пирсона [3] унитиол является типичным мягким основанием, а аммиак и этилендиамин – жесткими основаниями. Как правило, такие лиганды не должны сосуществовать в одной координационной сфере. Но в данном случае эффект упрочнения связи M-S настолько превосходит проигрыш в энергии при

расслаблении связи М-N, что смешаннолигандное соединение оказывается достаточно устойчивым. Кроме того, следует принять во внимание дополнительный эффект поляризации иона металла при деформации координационных сфер в неоднородном электростатическом поле лигандов.

Нами построены зависимости E_{stab} от констант устойчивости исследуемых соединений, так с увеличением $\lg\beta$ и E_{stab} увеличивается устойчивость комплексов, что видно из корреляционной зависимости между этими величинами на рисунке 2. Экспериментально определенные константы устойчивости и константы сопоропорционирования подтверждают этот вывод.

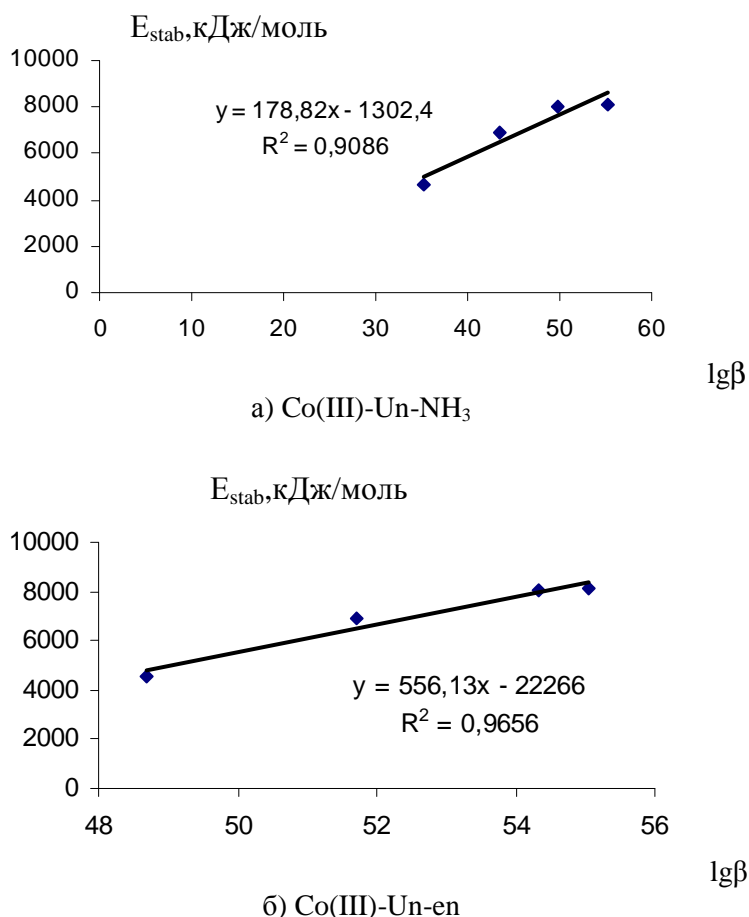


Рис 2. Зависимости E_{stab} от констант устойчивости

Таким образом, впервые потенциометрическим методом исследовано комплексообразование в системе Co(III) – унитиол, где в качестве исходных соединений кобальта выступали комплексы $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ и $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$. Установлено образование смешаннолигандных комплексных соединений состава $[\text{Co}(\text{NH}_3)_m(\text{HUn})_n]^{3-2n}$ и $[\text{Co}(\text{en})_m(\text{HUn})_n]^{3-2n}$, определены их термодинамические константы устойчивости и константы сопоропорционирования. Показано, что данные смешаннолигандные комплексы обладают повышенной устойчивостью и самопроизвольно образуются в водных растворах, что ранее теоретически предсказано на основании данных квантово-химических расчетов. Конечным продуктом реакций замещения в обеих исследуемых системах является унитиолатный комплекс $[\text{Co}(\text{HUn})_3]^{3-}$,

значения констант устойчивости которого, определенные разными путями, совпадают в пределах ошибки эксперимента. Таким образом, установлены области существования всех комплексных соединений в зависимости от концентрации унитиола и pH среды, которые позволяют создать научно-обоснованные подходы для целенаправленного синтеза индивидуальных комплексных соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stewart J.J.P. 1989. Optimization of Parameters for Semiempirical methods I. Metod. In *J. Comput. Chem.*, 1989, vol.10, No. 2, pp. 209-220.
2. Иващенко, Е.Н. Квантовохимические и термодинамические закономерности процессов комплексообразования элементов в рядах Cd - In - Sn и Hg - Tl - Pb с серосодержащими соединениями [Текст]: дис. ... канд. хим. наук: 02.00.04. / Иващенко Е.Н. – Алматы, 2006. – 115 с.
3. Кокунов, Ю.В. Смешанные галогенидные комплексы олова (II) и олова (IV) в водном растворе [Текст] / Ю.В. Кокунов, И.Э. Раков // Ж. неорган. химии. – 1998. – Т. 43, № 6. – С. 1021-1024.

Материал поступил 11.11.13.

S.Z. Mateeva, B.B. Karakoishieva, S.M. Kantarbaeva, K.K. Ospankulova

Taraz State University named after M. Kh. Dulati, Taraz

CONSTANT OF FORMATION OF MIXED-LIGAND COMPLEXES OF COBALT

Potencial analysis is one of the most popular methods of investigation on of complex compounds. Along with methods of chemical analysis and – spectroscopy thermal analysis allows to obtain important information about composition, structure, stability of compounds studied study of thermodynamics and mechanism of reactions of transformation of complex compounds of transition metals helps to and to determine the ways of synthesis of new substances with effective properties.

Keywords: thermodynamic stability, bidentate, the degree of dissociation.

УДК 629.1.073

Е.О. Омаров, Е.С. Джилкибаев

Кандидаты техн. наук, профессора

Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз

ДВИЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЯ ПО НЕРОВНЫМ ДОРОГАМ

Дорожные покрытия, в том числе неровности дороги ограничивает не только скорости движения, а еще влияет на надежность ходового аппарата и тем самым уменьшает производительность автомобильного агрегата. Рассмотрены движения автомобиля по неровностям через единичную неровность, по периодически повторяющимся неровностям и по грунтовой поверхности со случайным микро профилем.

Ключевые слова: автомобиль, дорожное покрытие, ходовой аппарат, неровность.

Неприятные ощущения и повышенная утомляемость водителя, вызываемые колебаниями и динамическими нагрузками, приводят к снижению скорости и производительности автомобиля. Кроме того, неровности поверхности дороги вызывают дополнительное сопротивление движению, снижают тяговые возможности автомобиля, повышают расход топлива, существенно снижают срок службы, в особенности элементов ходовой части.

При эксплуатации грузовых автомобилей на дорогах с неровной поверхностью средняя скорость движения и производительность снижаются на 40-60%, расход топлива и себестоимость перевозок увеличиваются на 50-70%. Степень снижения эффективности автомобиля из-за неровностей пути зависит главным образом от качества подвески.

Условия движения автомобиля по поверхности с дискретными препятствиями (пни, камни и т.д.) характеризуются соотношением высоты препятствий и дорожного просвета автомобиля, а также расстоянием между препятствиями, с одной стороны, и габаритными размерами и поворотливостью автомобиля – с другой.

Рассмотрим более подробно движения по неровностям. При этом выделим три случая движения: через единичную неровность, по периодически повторяющимся неровностям (волнообразной поверхности) и по грунтовой поверхности со случайным микро профилем.

Рассмотрим движение автомобиля через единичную неровность. При встрече с единичными неровностями водитель снижает скорость с целью исключения чрезмерных динамических нагрузок. Основным критерием ограничения скорости является удар в ограничители (пробой) подвески: скорость движения должна быть такой, чтобы машина переехала неровность без удара в ограничители.

Энергия, ведущая на подъем колеса при преодолении неровности, в самом первом приближении может быть выражена уравнением [3]:

$$A = \frac{m\theta^2}{2 \left(\frac{3\lambda_m + 4}{z - \lambda_m} - 2\lambda_m \right) = \frac{m\theta^2 (z + \lambda_g)^2}{z(z - \lambda_m)} } \quad (1)$$

где: λ_m – отношение высоты неровности к радиусу колеса; m – масса не подпрессоренных частей автомобиля.

Запас потенциальной энергии подвески (энергоёмкость) определяется выражением:

$$A_n = P_{cm} h_g + \int_{h_{cm}}^{h_g} C_p dh \quad (2)$$

где: $P_{ст}$ – статическая нагрузка; $h_{ст}$ – статический прогиб подвески; h_g – динамический прогиб подвески; C_p – жесткость подвески.

Условие движения без пробоя $A \leq A_n$. Учитывая это из приведенных двух уравнений (1) и (2) можно найти допустимое значение скорости:

$$v_{\max} = \sqrt{2(1 - \lambda_H)(P_{cm} h_g + \int_{h_{cm}}^{h_g} C_p dh / m(2 + \lambda_H))^2} \quad (3)$$

Для подвески с линейной характеристикой это уравнение имеет вид:

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{(z - \lambda_m)(2P_{ct} h_g + C_p h_g^2)}{\frac{m}{z + \lambda_m}}} \quad (4)$$

Из приведенных уравнений видно, что основным показателем подвески, влияющим на скорость движения автомобиля через единичную неровность, является энергоемкость. Если характеристики подвески линейные, то определяющее влияние оказывает динамический ход подвески.

Для более глубокого исследования движения автомобиля через единичную неровность могут быть использованы уравнения неустановившихся колебаний. Нас интересуют вертикальные перемещения поддресоренной части, которые определяются уравнением [1, 2]:

$$z = z_{u\pm} e^{-\delta_{1,2}\tau} \sin(\Omega\tau + x_{u\pm}) - z_{u\pm} e^{-\delta_{1,2}\tau} + \sin(\Omega_{\pm}\tau + x_{u\pm}) \quad (5)$$

где

$$z_{u1,2} = \sqrt{\frac{(\bar{a}_{1,2} + \bar{\delta}_{1,2})^2 + \Omega_{1,2} \omega_h \bar{a}}{\Omega_{1,2}}};$$

$$x_{u1,2} = \arctg \left[\frac{\Omega_{1,2}}{\bar{a}_{1,2} - \bar{\delta}_{1,2}} \right];$$

$$u_1 = \delta_1^2 + \Omega_1^2;$$

$$u_2 = \delta_2^2 + \Omega_2^2;$$

$$\Delta_{\sigma} = L(\delta_{\pm} - \delta_1)(u_1 \delta_{\pm} - u_{\pm} \delta_1) + (u_{\pm} - u_1)^2;$$

$$\bar{\delta}_{1,2} = h \frac{\left(1 + \frac{1}{\mu}\right) \Omega_{1,2}^2 - \omega_h^2}{z \Omega_{1,2}^2 \left[\omega^2 \left(1 + \frac{1}{\mu}\right) \omega_h^2 \right]};$$

где: z – вертикальные перемещения; τ – время прохода; Ω_1, Ω_2 – частота свободных колебаний; ω – парциальная частота колебаний поддресоренной массы; ω_h – парциальная частота колебаний неподдресоренной массы; μ – коэффициент неподдресоренных масс; h – приведенный коэффициент неупругого сопротивления подвески; индексы 1, 2 – характеризуют соответственно переднюю и заднюю подвески.

По результатам аналитического исследования колебаний автомобиля при проезде единичной неровности [4, 5] установлено, что перемещение кузова и колеса достигают наибольшей величины во время движения по

неровности при $v=u$ (v – частота действия возмущающей силы). При этом перемещения кузова превышают высоту неровности примерно в 1,5 раза, а перемещения колес не превышают высоту неровности. Изменение коэффициента затухания сказывается на характеристиках неустановившихся колебаний сравнительно слабо.

При движении автомобиля по волнистой поверхности в общем случае распределение неровностей по грунтовому пути является случайным. Однако часто встречаются правильно чередующиеся ухабы и выбоины, вызывающие наиболее сильные колебания автомобиля. Движение по таким неровностям ограничивается неприятным воздействием колебаний на человека. Принято считать, что ощущения людей при езде в автомобиле и наступающее при этом утомление связаны с ускорениями, которые испытывает человек при колебаниях, и с частотой воздействия этих ускорений.

При движении автомобиля наибольшее влияние на человека оказывают вертикальные колебания. В качестве максимальных допустимых среднеквадратичных значений приняты $z = 0,4g$ при непродолжительном воздействии (до двух часов в сутки). Амплитудные значения допускаемых ускорений при движении по синусоидальным неровностям в 1,41 раза больше [4, 5]. Эти нормы ускорений сиденья установлены для наиболее неблагоприятной для человека полосы частот (4-8 Гц) [1, 2].

Уменьшенную чувствительность человека к колебаниям на других частотах учитывают весовыми коэффициентами. Например, международная организация по стандартизации ISO нормирует колебания по октавам (полосам частот, у которых верхняя частота в два раза больше, чем нижняя) [4, 5].

Средние частоты октав Гц, 1,4 2,8 5,6 11,2 22,5 45 75

Весовые коэффициенты: 0,60 0,85 1 0,71 0,35 0,18 0,11

При колебаниях с различными частотами ускорения определяют по формуле:

$$z = \sqrt{\sum_1^n z_i^2 \lambda_i^2} \quad (6)$$

Следует заметить, что при измерении ускорений головы человека спектральный состав колебаний учитывается автоматически, как составляющие упругими свойствами тела в соответствии с их влиянием на человека.

Для расчета параметров колебаний автомобилей принимают ряд упрощающих допущений.

При рассмотрении колебаний двухосных автомобилей обычно пренебрегают связью между колебаниями передней и задней части автомобиля и исходят из двухмассовой системы M_1-m_1 или M_2-m_2 . M_1, M_2 – подрессоренная масса, соответственно передней и задней части; m_1, m_2 – неподрессоренная масса.

Уравнения движения подрессоренной массы:

$$M\ddot{z} = \frac{k(\xi - z)}{c_p(\xi - z)};$$

$$m\ddot{\xi} = h(\ddot{z} - \ddot{\xi}) + C_{\omega}p(z - \xi) + C_{\omega}h(q - \xi) .$$

В результате решения этих уравнений с учетом уравнения $q=q_0(1-\cos vt)$, описывающего профиль неровности, получают уравнения амплитудно-частотной характеристики автомобиля.

$$z/q_0 = C_{\omega}\sqrt{(h^2v^2 + C_p)/\Delta} ; \quad (7)$$

$$\dot{z}/q_0 = C_{\omega}v^2\sqrt{(h^2v^2 + C_p)/\Delta} ; \quad (8)$$

$$\ddot{\xi}/q_0 = C_{\omega}\sqrt{[(C_p - M_v^2)^2 - h^2v^2]/\Delta} ; \quad (9)$$

$$\Delta = [Mmv^2 - (C_p m + C_p M + C_m M)v^2 + C_p C_{\omega}]^2 + h^2v^2[C_{\omega} - v^2(m + M)]^2 \quad (10)$$

где: z – перемещение поддрессоренной массы; ξ – перемещение неподдрессоренной массы; \dot{z} – ускорение поддрессоренной массы; $v = 2\pi v/S$ – частота возмущения, рад/с; $2q_0$ – высота неровности; C_{ω} – жесткость шин; h – коэффициент сопротивления амортизаторов.

Для расчета возможной скорости движения зависимость $\ddot{z}/q_0(v)$ по уравнению (8) представляют в виде графика и дополняют его зависимостью $v(v)$. Зная высоту и длину неровностей, и максимальное допустимое ускорение колебаний, можно определить допустимую скорость движения. Например, определим допустимую скорость при кратковременном движении по неровностям с $q_0 = 5$ см, $S = 5$ см. Допустимое значение ускорений $\ddot{z}_{\max} = 0,56g$, следовательно, $\ddot{z}/q_0 = 111$ м/с [2]. Проводим горизонтальную линию с ординатой 111 м/с до пересечения с кривой $\ddot{z}/q_0(v)$. Из точки пересечения проводим вертикальную линию до пересечения с прямой $v(v)$ при $S = 5$ см. Этой точке соответствует максимально допустимая скорость $v = 12,5$ км/ч.

Для оценки параметров движения автомобиля по волнистой поверхности важно знать также дополнительное сопротивление движению от неровностей фунта и изменение нормальных реакций грунта на колеса и в особенности при отрыве колес от грунта повышается буксование колес, снижаются тяговые возможности автомобиля, устойчивость движения и управляемость.

Кинематическая энергия движущегося автомобиля при встрече с неровностями дороги и частично на возбуждение колебаний поддрессоренной и неподдрессоренной масс автомобиля. Для определения дополнительной мощности сопротивления движению по неровностям можно использовать следующее уравнение [3, 4]:

$$N_{\text{дон}} = N_{\tau} + N_z + N_p + N_{\text{ш}} = \frac{[4,06\varphi_{2n}mh^z v_2^z + 2,02h_z h^z v_2^z + 2,02h_m mh^z v_2^z + 1,48h_{\text{пос}} h v_2]}{10^4 \delta^p} \quad (11)$$

где: $N_\tau, N_z, N_p, N_{ш}$ – мощность затрачиваемая соответственно на преодоление горизонтальных сил, на сопротивление в амортизаторах на трение в рессорах, на внутреннее трение в шинах; $h_z, h_{ш}$ – коэффициенты сопротивления амортизаторов и шин; h – амплитуда относительных перемещений кузова и колес, $h = Z - \xi$, их определяют по формулам (7), (8); φ_{ho} – парциальное затухание колебаний неподдресоренной массы при неподвижной поддресоренной массе, $1/c$; $h_{рос}$ – сила сопротивления в рессорах.

Перейдя от мощности сопротивления движению к коэффициенту дополнительного сопротивления движению по неровностям грунта, получим:

$$\psi_{дон} = \frac{270N_{дон}}{g_H v_H} = \frac{0,054v_H h^2 (2\varphi_{ho}m + h_z + h_{ш})}{g_H \delta^2} + \frac{0,04h_{pec} h}{g_H \delta}; \quad (12)$$

Нормальные реакции грунта на колеса R_z можно определить по деформации шины

$$\begin{aligned} h_z &= \xi q_0; \\ R_z &= C_{ш} (\xi - q); \end{aligned} \quad (13)$$

Значения ξ изменяются в пределах $\pm \xi_m$, где ξ_v – амплитуда колебаний неподдресоренной массы определяется по уравнению (9), а значения q , изменяются в пределах $\pm q_v$, где q_v – половина высоты неровности. Например, при $\xi_0 / q_0 = 0,8$ значение R изменяется в пределах $R_z = 0,2 C_{ш} q_0$ до $R_z = 1,8 C_{ш} q_0$.

Выводы:

1. При эксплуатации грузовых автомобилей на дорогах с неровной поверхностью средняя скорость движения и производительность снижаются на 40-60%, расход топлива и себестоимость перевозок увеличиваются на 50-70%.

2. На степень снижения эффективности автомобиля из-за неровностей пути влияет, главным образом, качество подвески.

3. Основным критерием ограничения скорости является удар в ограничители (пробой) подвески: скорость движения должна быть такой, чтобы машина переехала неровность без удара в ограничители.

4. Во время переезда через единичные неровности, перемещения кузова автомобиля превышают высоту неровностей в 1,5 раза, а перемещения опорных колес не превышают высоты неровности.

5. При движении автомобиля наибольшее влияние на человека оказывают вертикальные колебания, при длительной эксплуатации значение среднеквадратичных ускорений должны быть не более $\dot{z} \leq 0,25g$, а при непродолжительном $\ddot{z} < 0,4g$.

6. При движении автомобиля по синусоидальным неровностям в 1,41 раза больше значение допустимых ускорений, при этом неблагоприятной для человека полосы частот находятся в пределах 4-8 Гц.

7. При отрыве колес от грунта повышается буксование колес, снижаются тяговые возможности автомобиля, устойчивость движения и управляемость.

8. Кинетическая энергия автомобиля при неровностях дороги частично расходуется на преодоление горизонтальной составляющей реакции дороги – возбуждение колебаний поддрессоренной и неподдрессоренной масс автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агейкин, Я.С. Проходимость автомобилей [Текст] / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
2. Беккер, М.Г. Введение в теорию систем местность-машина [Текст] / М.Г. Беккер. – М.: Машиностроение, 1973. – 520 с.
3. Бабков, В.Ф. Проходимость колесных машин по грунту [Текст] / В.Ф. Бабков [и др.]. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 189 с.
4. Ротенберг, Р.В. Подвеска автомобиля [Текст] / Р.В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
5. Яценко, Н.Н. Плавность хода грузовых автомобилей [Текст] / Н.Н. Яценко, О.К. Прутчиков. – М.: Машиностроение, 1969.

Материал поступил 24.10.13.

Е.О. Omarov, E.S. Jilkibayev

Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz

DRIVING CAR ON UNEVEN ROADS

Road surfacing, including bumps, not only restricts the movement speed, and still affects the reliability of the navigation system and thus decreases the performance of the unit road. Driving over bumps through unit roughness by periodically repeating irregularities and unpaved surfaces with random micro profile are considered.

Keywords: car, pavement, running machine, unevenness.

ӘОК 621.229

Е.О. Омаров¹, А.Т. Имандосов², Б.У. Жаманбаев³, Э.А. Алмаханова³

¹Техн. ғылымд. канд., проф. ²Техн. ғылымд. канд., доц. ³Магистрлар, аға оқытушылар
М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қаласы

БУ ҚОЗҒАЛТҚЫШЫ

Поршенді іштен жанатын қозғалтқыштарда қысу процесінің соңында цилиндрде сығымдалып, температурасы 500÷600°С-қа дейін көтерілген ауаның үстіне дизель отынын бүркүдің орнына майда тозаң түрінде су бүрку ұсынылған. Ыстық ауаға бүркілген су буға айналып, оның көлемі және қысымы артады. Осы қысым поршенді жылжытып, пайдалы жұмыс атқарады.

Кілт сөздер: іштен жанатын қозғалтқыш, бу қозғалтқышы, цилиндр, клапандар, терезе, поршень, қысу дәрежесі, шығынды газдар, улағыш заттар, жоғарғы межелік нүкте, төменгі межелік нүкте.

Қазіргі кездегі автокөліктерде және басқа да құрылыс машиналарында пайдалануда жүрген поршенді іштен жанатын қозғалтқыштардың көптеген кемшіліктері бар: конструкциясы өте күрделі, бағасы қымбат, күн өткен сайын қоры кемейіп бара жатқан мұнай өнімдерінен жасалған отынды пайдаланады; жану өнімдерінен пайда болатын шығынды газдар құрамында қоршаған ортаға зиянды әсері өте жоғары болған улағыш қоспалар (CO, NO_x) көп.

Қозғалтқыштың осы кемшіліктерін жойып, проблеманы түбегейлі шешу үшін, жаңа қуат көзін табу керек. Ол қандай болмақ? Мұндай қуат көзіне арзан су буын пайдаланып жұмыс істейтін және қоршаған ортаға зиянды шығарылымдары болмайтын қозғалтқыштарды жатқызуға болады.

Мұндай қозғалтқыштың бір варианты ретінде «жанармай элементін» пайдалану ұсынылған, дегенмен шешілмеген мәселелері көп болғандықтан қазіргі кезде ондай қозғалтқыштың пайдалану ауқымы мардымсыз болып отыр. «Жанармай элементін» қолданатын қозғалтқыштың негізгі кемшілігі: қажетті көлемде сутегі элементін өндіру әлі де шешімін таппаған, сондықтан ондай қажетті көлемде сутегі элементін өндіре алатын қондырғыны жасау үшін көптеген зерттеулерді жүргізу қажет. Демек, бұл мәселені толық шешу өту үшін шамамен 10-15 жыл шамасында уақыт керек.

Аталған проблеманы шешудің тағы бір жолы ретінде – бу қозғалтқышын қолдануды ұсынуға болады. Бу қозғалтқышының жұмыс істеу принципі қысу процесінің соңында цилиндрге бүркілген судың буға айналып, цилиндр ішіндегі қысымының артуын пайдалануға негізделген. Цилиндрде енгізу және шығару клапандары болмайды, оның орнына цилиндрдің төменгі жағында орналасқан шығару терезелері ғана болады. Жану камерасына орнатылған бүріккіштер суды тұман түрінде цилиндрге бүркіп береді.

Ұсынылған қозғалтқыштың жұмыс істеуі төмендегі тәртіпте жүреді. Қысу дәрежесі $\varepsilon = 20 \div 24$ аралығында болған қозғалтқыштың поршені жоғарғы межелік нүктеге жеткенде цилиндрдегі сығымдалған ауаның температурасы $500 \div 600^\circ\text{C}$ -қа дейін көтеріледі. Сол сәтте тұман түрінде бүркілген су жоғары қысым мен температура жағдайында тез буға айналады да, көлемі 50-170 есеге артады, демек, бу қысымы да сонша есе артады деген сөз. Осы қысым күшінің әсерінен поршень төмен қарай жылжып, пайдалы жұмыс атқарады.

Поршень төменгі межелік нүктеге жете бергенде, пайдалы жұмыс атқарып болған су буы цилиндр қабырғасындағы терезелер арқылы өз қысымының әсерінен сыртқа шағады. Терезелерге жалғасқан коллектор мен радиаторда көлемінің артуына және температурасының төмендеуіне байланысты салқындаған су буы суға айналып, су құбыры арқылы арнайы жасалған ыдысқа жиналады. Жиналған су насос арқылы сорып алынады да, жоғары қысымға дейін сығымдалып, қайтадан бүріккіштер арқылы цилиндрге бүркіледі.

Қозғалтқыш екі тактылы цикл бойынша жұмыс істейді, яғни иінді біліктің әрбір айналымында поршень жұмыстық жүріс жасайды, сондықтан қозғалтқыштың бірқалыпты жұмыс істеуі үшін цилиндрлер саны $4 \div 6$ аралығында болғаны тиімді болмақ.

Жану камерасына бүркілген судың қысқа уақыт ішінде буға айналуын қамтамасыз ету үшін бір мезетте 2...4 бүрку форсункаларын қолдану қажеттігі туындайды және форсункалар суды майда тұман түрінде бүркуі тиіс. Сонда жану камерасының бүкіл көлемі бойлап жылдам және толық

булану процесі жүреді. Бүріккіш ретінде қазіргі жеңіл автокөліктерінде қолданылып жүрген отын бүріккіштерін қолдануға болады, ондағы бүрку қысымы $3\div 4$ МПа шамасында болғаны тиімді.

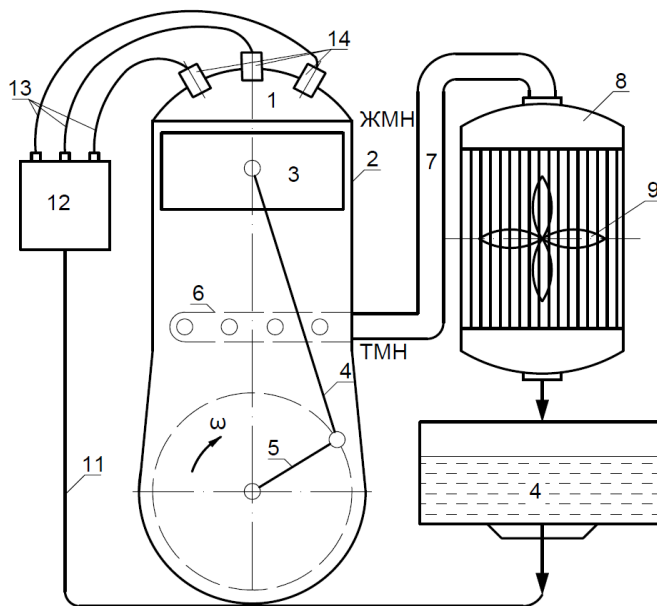
Су және су буы әсерінен қозғалтқыштың болаттан және шойыннан жасалған тетіктері коррозияға ұшырамау үшін, насостар мен бүріккіштердің тетіктері әдейі арналған (лигирленген) материалдардан жасалуға тиіс, сонда тотығуға жол берілмейді. Сонымен қатар, жану камерасына дизельде $1\div 2$ г дизель отыны бүрікілсе, бу қозғалтқышында бүрікілетін судың мөлшерін де нақты анықтау қажет. Болжамдарға қарағанда жану камерасына бүрікілетін су мөлшері $3\div 6$ г шамасынан аспағаны жөн.

Бұл бу қозғалтқышының ерекшелігі сол, жоғары қысым туғызушы су буы тікелей жану камерасының өзінде дайындалады. Қозғалтқышты іске қосу үшін алдын-ала иінді білікті стартер жәрдеміне айналдыру керек, қозғалтқыш іске қосылып, жұмыс істей бастағаннан кейін, қысу мен жұмыс процестері қайталана отырып, бу қозғалтқышы одан әрі жұмысын өзі жалғастыра береді.

Иінді біліктің айналу жиілігін және қозғалтқыштың өндіретін қуатын бүрікілетін су мөлшерін өзгерту арқылы басқарады.

Бу қозғалтқышында жану процесінің орнына булану процесі өтеді. Осы булану процесінің жылдамдылығы анықтауды қажет етеді. Соған байланысты бу қозғалтқышының оңтайлы айналу жиілігі де анықталады. Іштен жанатын қозғалтқыштарда жанармайдың жану жылдамдылығы $30\div 40$ м/с болса, булану жылдамдылығын тәжірибе жолымен анықтау қажет.

Бу қозғалтқышының жұмыс істеу схемасы 1-суретте көрсетілген.



1 – булану камерасы; 2 – цилиндр; 3 – поршень; 4 – шатун; 5 – иінді білік; 6 – пайдаланған буды шығару терезелері; 7 – құбыр; 8 – радиатор; 9 – желдеткіш; 10 – салқындаған суды жинауға арналған ыдысі; 11 – сору түтікшесі; 12 – жоғарғы қысымды су насосы; 13 – жоғарғы қысымда істейтін түтікшелер; 14 – бүріккіштер.

Сурет 1. Бу қозғалтқышының жұмыс істеу схемасы

Ұсынылып отырған қондырғының артықшылығымен қатар шешілмеген мәселелері де бар.

Бу қозғалтқышының артықшылықтары:

- қымбат жанармайдың орнына арзан суды пайдаланады, тек судың құрамында тұздары жоқ немесе өте аз болғаны жөн;

- атмосфераға (қоршаған ортаға) зиянды қоспаларды шығармайды, яғни сыртқа шығаратын жану өнімдері болмайды, пайдаланған су буы қайтадан айналымға түсіп, пайдаланатын болады;

- су жану камерасына тұман түрінде бүркіледі, яғни бұға айналғанда жану процесінің болмауына байланысты дизель мен карбюратор қозғалтқыштарындағыдай қатты шуыл шығармайды;

- жұмыс циклі иінді біліктің бір айналымында өтеді, яғни екі тактілі қозғалтқыш режимінде жұмыс істейді, сондықтан тиімділігі екі есе артады;

- енгізу және шығару клапандарына қажеттілік болмайды, пайдаланудан кейінгі бу цилиндрдің төменгі жағында орналасқан терезелер арқылы өз қысымымен сыртқа шығарылады;

- су сақтағыш ыдысқа құйылған дистирленген таза суды ұзақ мерзім бойында пайдалануға болады, себебі жұмыс процессінде су қайтадан пайдалануға жарамды, тек судың деңгейін тексеріп және қажет болса толықтырып отыру қажет;

- салқындату жүйесі артық салқындатуды қажет етпейді, себебі булану камерасындағы температура 600°C -тан аспайды, сондықтан цилиндр және поршень беттерін жағармайлармен және ауамен желдетіп салқындатуға болады;

- енгізу және шығару клапандарының болмауына байланысты газ бөлістіру механизмінің қажеттегі болмайды, ал шығару терезесін поршеннің өзі ашып-жабады.

Бу қозғалтқышының кемшіліктері мен шешілмеген мәселелері:

- бүркілген судың құрғақ бұға айналуға кететін уақыт мөлшері мен иінді біліктің оңтайлы айналу жиілігі анықтауды қажет етеді;

- жану камерасына бүркілетін судың оптималды мөлшері де зерттеп анықтауды қажет етеді;

- насос пен бүріккіштің тетіктерін тотықпайтын лигирленген материалдардан жасауды талап етеді;

- цилиндр бетін майлау үшін температурасы 600°C , қысымы 20-30 МПа болған су буымен жуылып кетпейтін арнайы жағармаймен майлау қажеттігі туындайды;

- майланбайтын болғандықтан, жұмыс мерзімін ұзарту үшін насос плунжері мен бүріккіштің тетіктерін желінуге шыдамды керамикалық материалдардан жасау қажет.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Двигатели внутреннего сгорания [Текст]: устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1980. – 288 с.
2. Николаенко, А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей [Текст] / А.В. Николаенко. – М.: Колос, 1984. – 342 с.
3. Колчин, А.И. Демидов, В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст] / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – М.: Высшая школа, 1980. – 342 с.

4. Двигатели внутреннего сгорания [Текст]: устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1988. – 520 с.
5. Тракторные дизели [Текст]: справочник; под общей редакцией Б.Н. Взорова. – М.: Машиностроение, 1984. – 535 с.

Материал 13.11.13 түсті

E.O. Omarov, A.T. Imandosov, B.U. Zhamanbaev, E.A. Almahanova

Taraz State University named after M.Kh.Dulati, Taraz

STEAM MACHINE

At the end of the compression process in the piston internal combustion engines, into the air, heated to a temperature of $500 \div 600$ ° C, it is suggested to inject pure water in the form of tiny particles instead of diesel fuel. As a result of high temperature the water evaporates quickly and increases its volume and pressure. As a result of this pressure the piston moves down, makes stroke and performs useful work.

Keywords: internal combustion engines, steam engine, cylinder, valves, window, piston, compression ratio, exhaust gases, toxic substances, the upper dead point, the lower dead point.

ӘОК 621.438

Е.О. Омаров¹, А.Т. Имандосов², Б.У. Жаманбаев³, Э.А. Алмаханова³

¹Техн. ғылымд. канд., проф. ²Техн. ғылымд. канд., доц. ³Магистрлар, аға оқытушылар
М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қаласы

ҚОЗҒАЛТҚЫШТЫҢ ШЫҒЫНДЫ ГАЗДАРЫНЫҢ УЛАҒЫШТЫҒЫН АЗАЙТУ ЖОЛДАРЫ

Таза суды буланған тұман түрінде поршенді іштен жанатын қозғалтқыштың енгізу құбырына беру әдісі ұсынылған. Берілген су буы енгізу құбырындағы жанғыш қоспаға қосылып, цилиндрге беріледі. Жану барысында су буы оттегіге және сутегіге ажыралып, жанудағы оттегі үлесін арттырады. Нәтижеде жұмыстық қоспа толық жанады да, шығынды газдардың құрамындағы улағыш компоненттер кемиді.

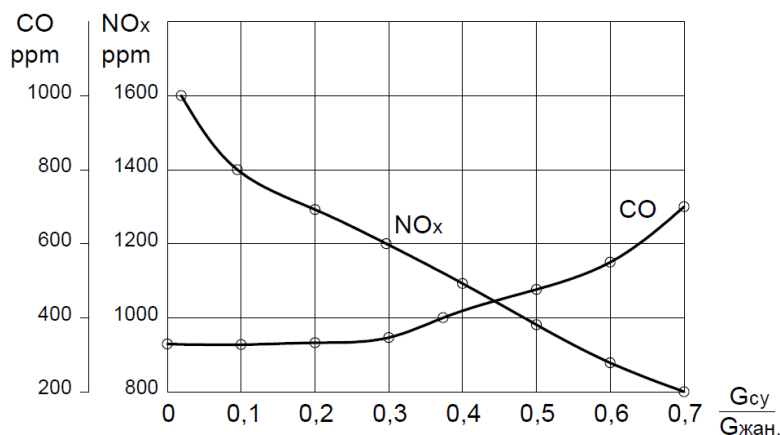
Кілт сөздер: іштен жанатын қозғалтқыш, бу, цилиндр, клапандар, поршень, қысу дәрежесі, шығынды газдар, улағыш заттар.

Іштен жанатын қозғалтқыштардан бөлінетін шығынды газдар құрамындағы улағыш заттар ауа және су бассейндерін ластайды, өсімдік және жануарлардың өсуін тежейді, адамның денсаулығына зиянды әсер етеді. Шығынды газдар құрамындағы улағыш заттарды азайту немесе мүлдем болдырмау үшін, енгізу құбырына немесе тікелей цилиндрге тұман түрінде су бүрку керек. Цилиндрлерге бүркілетін судың мөлшері бірдей болуы үшін, әрбір цилиндрге жеке-жеке су бүріккіш орнатқан дұрыс.

Бүркілген су цилиндрдегі жұмыстық қоспаның жылу сыйымдылығын арттырып, жану процесінде газдың температурасын біршама төмендетеді. Бұл, академик Я.Б. Зельдовичтің зерттеулерінің нәтижесі бойынша, азоттың тотығу реакциясын тоқтатады [1, 2].

Зерттеулердің нәтижесіне қарағанда, егер цилиндрге бүркілетін су мөлшері цилиндрге енгізілген отын массасының 70-80 пайызын құрайтын болса, яғни судың жанармайға қатынасы $G_{cy} / G_{жан} = 0,7 \div 0,8$ аралығында болғанда, жану өнімдерінде азот тотығы (NO_x) екі есеге дейін кемиді [2]. Осындай қоспамен жұмыс істеген қозғалтқыштың қуаты төмендемейді және жанармай шығыны артпайды. Академик Зельдовичтің [2] зерттеулерінің нәтижесі бойынша, жанғыш қоспаға су бүркілгенде жану өнімінде су буымен қатар (H_2O) азот тотығының (NO_x) үлесі 0,0001 пайызға дейін азаятыны дәлелденген. Осы байланыстардың динамикасы 1-суретте көрсетілген.

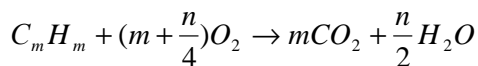
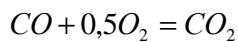
Осы 1-суретте көрсетілгендей, азот тотығының кемуі бүркілген су үлесінің артуымен қатар, көмір тотығының (CO) үлесі да артады, сондықтан бүркілетін су мөлшері 0,3-0,4 қатынасынан аспағаны тиімді, сонда жану өнімдерінің құрамындағы (CO) үлесі өзгермейді, ал азот тотығы (NO_x) 1800-ден 1100 есеге дейін кемиді. Сондықтан, бүркілетін су мөлшерін оптималды деп саналатын 0,7-0,8 қатынасына жеткізіп, жану өнімдерінің құрамындағы NO_x үлесін 0,0001 пайызға дейін төмендету, сондай-ақ екінші улы қоспа – CO үлесін азайту керектігі туындайды.



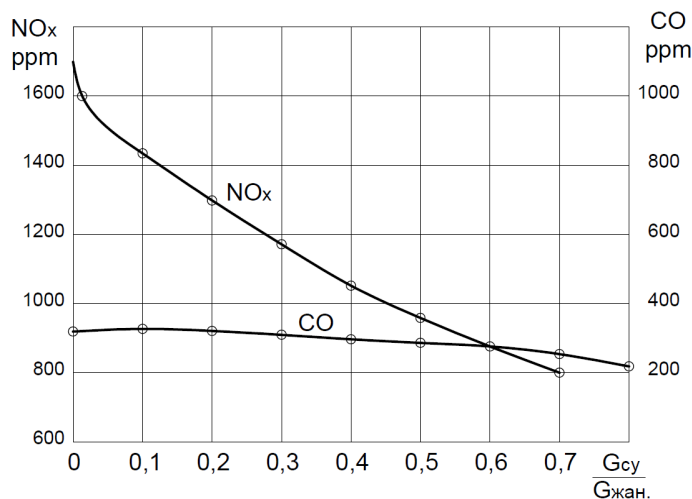
Сурет 1. Абтхоф пен Лютер [1] зерттеулері бойынша жанғыш қоспаға бүркілген су мөлшеріне байланысты шығынды газдар құрамындағы улы заттардың (NO_x пен CO) өзгеруі

Көмір тотығы CO негізінен жану процесінде жұмыстық қоспа құрамындағы оттегінің жетіспеуінен пайда болады, сондықтан ауаның артып кету коэффициенті бірден артық $\alpha > 1$, болғаны, яғни жануда қатысатын ауаның нақты мөлшері оның теориялық қажетті мөлшерінен артық болғаны жөн. Ол үшін ауа тазартқыштың және карбюратордың, сондай-ақ енгізу клапаны мен құбырының қарсылығын азайтып, қажетті көлемде ауаның цилиндрге енгізілуін қамтамасыз ету керек. Бұған қол жеткізу үшін енгізу құбырында ауа қысымын туғызған тиімді деп саналады. Осы талаптарды

толық орындау мақсатында, қазіргі қозғалтқыштарда карбюратордан кейін турбокомпрессорды орналастырып, ал жанармай бүркілетін қазіргі карбюратор мен дизель қозғалтқыштарында енгізу процесі кезінде енгізу клапанының алдында отын бүркіліп жанғыш қоспасы дайындалады. Енгізу құбыры арқылы цилиндрге беріліп жатқан жанғыш қоспаның үстіне суды бүркітетін форсункалар орнатылғанда, бүркілген су буы жанғыш қоспамен жақсы араласып, қоспа құрамындағы су мөлшерінің отын мөлшеріне қатынасының мәнін $0,7 \div 0,8$ -ге жеткізуге болады. Сонымен қатар, артық берілген ауа ($\alpha > 1$) жанармай қоспасының толық жануына, яғни төмендегідей химиялық реакцияның өтуіне жағдай жасайды:



Осы екі ұсыныс толық орындалған жағдайда, шығынды газдар құрамындағы улы қоспалары (CO, NO_x) төмендеп, қоршаған ортаға зияны болмайды. Енгізу құбырына су бүркіліп және турбокомпрессорды пайдаланғаннан кейінгі NO_x пен CO қоспаларының кемуі 2-суретте көрсетілген.



Сурет 2. Енгізу құбырына су бүркіп және турбокомпрессорды пайдаланудан кейінгі NO_x пен CO қоспаларының кемуі

Әрбір цилиндрдің енгізу құбырына жеке-жеке су бүркікіш және жанармай бүркікіш орнатылып, ауа тазартқыштан кейін турбокомпрессор қойылады.

Турбокомпрессордан өткен ауаның қысымының артуымен қатар температурасы да артады, сондықтан цилиндрге бүркілген жанармай мен судың тез булануына және жақсы араласып, цилиндрге қызған және жақсы араласқан қоспаның енуіне жағдай жасалады. Нәтижеде жұмыстық қоспа толық жанып, шығынды газдар құрамында улы қоспалар болмайды немесе олар өте аз мөлшерде ғана түзіледі.

Дизель қозғалтқышында болса, енгізу құбырындағы ауаға су тұман түрінде бүркіліп, судың толық көлемде буланып, ауамен араласып, содан

цилиндрге енуіне жағдай жасалады. Бүркілген су мөлшерінің отын мөлшеріне қатынасы $0,7 \div 0,8$ болғанда жанармай қоспасының сыйымдылығы артып, азот тотығының түзілу реакциясы баяулайды, нәтижесінде шығынды газдар құрамындағы азот тотығының үлесі 0,0001%-дан аспайды.

Ауаның артып кету коэффициенті $\alpha > 1,8$ болған жағдайда шығынды газдар құрамындағы CO қоспасы толық көлемде CO_2 -ға айналады, оның қоршаған ортаға тигізетін зияны төмендеп, Евро-5 талабына толық жауап береді.

Қорытынды:

1. Жанармай қоспасына жанармайдың 0,7-0,8 үлесін құрайтын мөлшерде су буын тұман түрінде бүрку арқылы азот тотығы (NO_x) мен CO қоспаларының пайда болуына жол бермеуге болады, яғни жанармай қоспасының жылу сыйымдылығының артуына және оттегінің жеткілікті болуына байланысты цилиндрдегі жұмыстық қоспа толық жанады да, зиянды улағыш қоспалар (NO_x, CO) түзілмейді.

2. Бүркілген су буы толық көлемде буланып, жұмыстық қоспа құрамында оттегінің жеткілікті болуы үшін, дизель мен карбюратор қозғалтқыштарында турбокомпрессор қондырғысын қолданған өте тиімді, сонда жұмыстық қоспаның толық жануына мүмкіндік туады.

3. Цилиндрге берілген жанармайға қосымша оның 0,7-0,8 үлесіндегі су буын бүркіп берілсе, жану процесінде азот тотығы (NO_x) түзілмейді немесе өте төмен мөлшерде түзіледі, сондай-ақ жану процесінде улы CO қоспасының түзілуіне жол берілмейді де, қозғалтқыштар Евро-4 және Евро-5 талаптарына толық жауап береді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Двигатели внутреннего сгорания [Текст]: устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1980. – 288 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания [Текст]: теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 520 с.
3. [?] [Текст] // За рулем, Автомир. – 2010-2012.

Материал 13.11.13 түсті

Е.О. Omarov, А.Т. Imandosov, В.У. Zhamanbaev, Е.А. Almahanova

Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz

WAYS TO REDUCE THE TOXICITY OF EXHAUST GASES OF THE ENGINE

The method of feeding of water as steam into the intake manifold of engine is suggested. There dry steam is mixing with combustible mixture and entering the cylinder. In the combustion process the steam is separated into oxygen and hydrogen, and the combustible mixture is enriched with oxygen. As a result,

complete combustion of the operating mixture takes place and the toxic components in the exhaust gases decrease.

Keywords: internal combustion engines, steam engine, cylinder, valves, window, piston, compression ratio, exhaust gases, toxic substances.

УДК 69 + 624.151.5:561.5

П.С. Пойта¹, П.В. Шведовский², Д.Н. Клебанюк³

¹Д-р техн. наук, проф. ²Канд. техн. наук, проф. ³Магистр, ассистент
Брестский государственный технический университет,
г. Брест, Республика Беларусь

ОСОБЕННОСТИ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ОСНОВАНИЙ НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ СО СЛОЖНЫМИ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

Представлены результаты анализа технологических и конструктивных аспектов устройства искусственных оснований методами интенсивного ударного уплотнения. Установлено, что как конструктивные параметры – масса и форма подошвы трамбовок, так и технологические – расположение точек и поэтапность уплотнения, во многом определяют возможность получения качественных оснований для любых инженерно-геологических условий при минимальных энергозатратах, сроках устройства и стоимости работ.

Ключевые слова: искусственное основание, тяжелая трамбовка, конструктивные параметры, технологические схемы, расчет, оптимизация.

Опыт проектирования строительства искусственных оснований зданий и сооружений методами интенсивного ударного уплотнения показывает, что повышение экономичности принятых решений, снижение трудоёмкости при их устройстве может быть достигнуто за счёт совершенствования как конструктивных, так и технологических параметров, определяющих выбранную технологию. Правильно выбранные конструктивно-технологические параметры позволяют получить качественное основание при минимальных энергозатратах для любых инженерно-геологических условий, а следовательно, снижают сроки строительства и стоимость работ [1, 2].

В производственной практике наиболее распространена квадратная схема размещения точек уплотнения. Суть этой схемы – уплотнение грунтового основания по условной сетке определенных размеров в один или два этапа (рис. 1).

При этом для одноэтапной схемы точки уплотнения располагаются по вершинам квадратов, а для двухэтапной – в начале производят уплотнение в точках по вершинам больших квадратов, затем делают технологический перерыв (10-15 суток) и производят дальнейшее уплотнение в точках средней части зоны между первоначальными точками уплотнения.

Не менее широкое распространение получила и схема трамбования по участкам с перекрытием следов отдельными циклами (рис. 2).

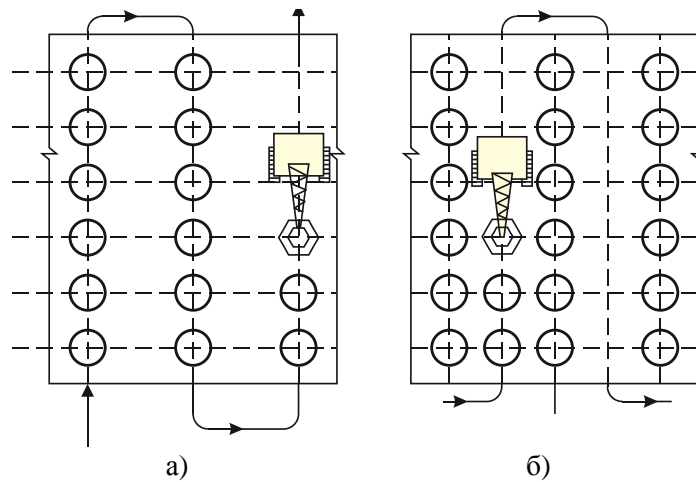
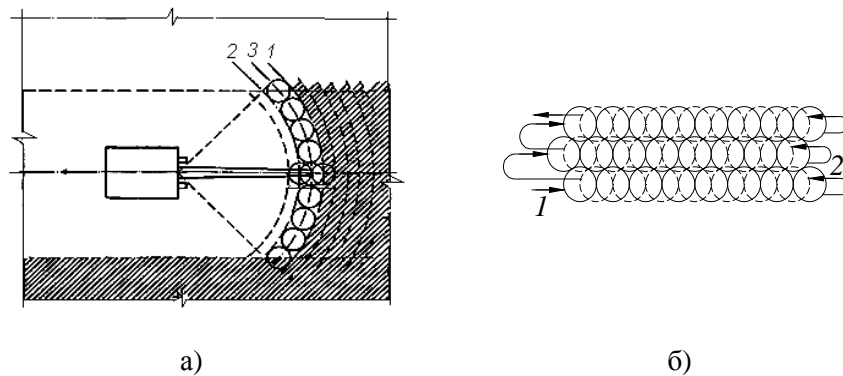


Рис. 1. Схема уплотнения грунтового основания по условной сетке:
а – первый этап; б – второй этап



1, 2, 3 – соответственно I, II и III циклы

Рис. 2. Схема уплотнения грунтовых оснований с перекрытием следов:
а) трехцикловая (по два-три удара в каждом цикле с повторением циклов до получения отказа); б) двухцикловая (по пять-шесть ударов в цикле).

Уплотнение обычно выполняется в два или три цикла (при постоянном поворачивании стрелы по мере перехода с одного следа на другой (рис. 2а) или постоянном продвижении уплотняющего механизма (рис. 2б)). По каждому следу производится соответственно от 2 до 3-4 ударов.

Нормативными документами [6] рекомендуется точки уплотнения размещать по вершинам квадрата (а) или равностороннего треугольника (б) (рис. 3).

Исследованиями [3] доказано, что с одними и теми же энергетическими затратами площадь уплотненного основания при треугольном расположении точек уплотнения в 1,5 раза больше, чем при квадратном.

Проведенный анализ особенностей наложения зон уплотнения определяет необходимость перехода от полярных координат к сферическим ортогональным.

При этом в зависимости от особенностей уплотняемой толщи грунтов – однородная или многослойная, где верхний слой подстилается более проч-

ным грунтом, необходимо рассматривать соответственно системы координат для полюсных ($a_{пол}$) и ортогональных ($a_{орт}$) сфер и эллипсоидов.

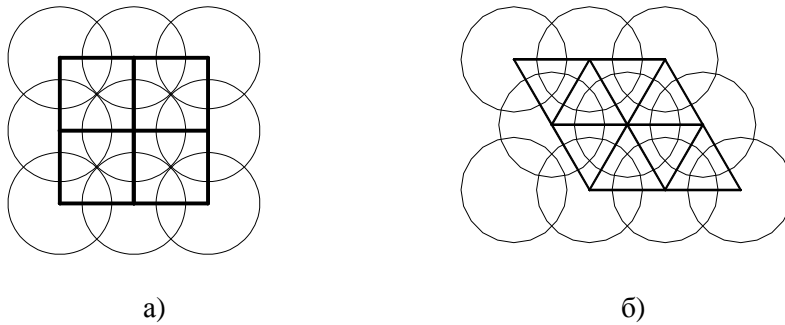


Рис. 3. Схемы размещения точек уплотнения грунта трамбовками по вершинам квадрата (а), равностороннего треугольника (б)

На рисунке 4 приведены соответствующие расчетные схемы координатных систем.

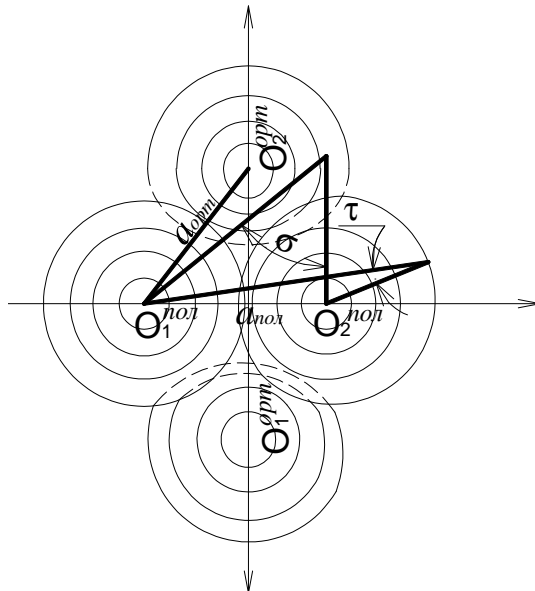


Рис. 4. Расчетные схемы координатных поверхностей для полюсных и ортогональных сфер и эллипсоидов

В соответствии с [7, 8] рассматриваемая расчетная схема координат позволяет получить следующие зависимости для определения расстояний между точками уплотнения:

- в полюсных плоскостях –

$$a_{пол} = \sqrt{\frac{(\sigma \cdot \tau)^2 \cdot (\cos \alpha + \sin \varphi)^2}{(\sigma^2 - 1) \cdot \sin \alpha} + \frac{1.56 \cdot d_{мп}^2}{\sigma^2}}; \quad (1)$$

- в ортогональных плоскостях –

$$a_{opt} = 1.56 \cdot \sqrt{\frac{(\sigma \cdot \tau)^2 \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \alpha)^2}{(\tau^2 - 1)} + \frac{d_{mp}^2 \cdot h_{om}}{\tau^2}}. \quad (2)$$

где: σ и τ – углы координатных точек сферических плоскостей; φ – угол внутреннего трения грунта в естественном состоянии; α – угол наклона образующей сферы уплотнения; h_{om} – глубина отпечатка; d_{mp} – диаметр трамбовки.

Соответственно $l_2 = \frac{a_{нол}}{2}$, а $l_1 = \frac{\sqrt{a_{нол}^2 + a_{opt}^2}}{2}$ со следующей схемой размещения точек уплотнения (рис. 5).

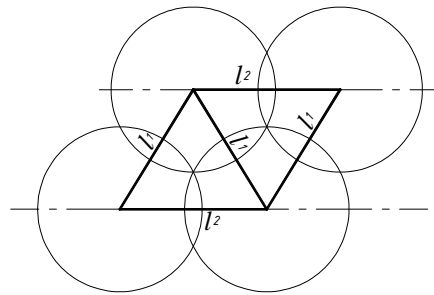


Рис. 5. Схема размещения точек уплотнения

Анализ соотношения значений l_1 и l_2 позволяет отметить, что $l_2 > l_1$, а это указывает, что размещение точек уплотнения должно быть по вершинам равнобедренного, а не равностороннего треугольника.

Проведенные исследования [4, 5, 8] также свидетельствуют и о целесообразности увеличения массы трамбовок, что позволяет получить не только требуемую осадку поверхности грунта с меньшими энергетическими затратами, но и более равномерное распределение плотности по глубине уплотняемой толщи.

Однако трамбовка одной и той же массы может иметь отличающиеся не только размеры подошвы, но и ее формы, что обуславливает совершенно разное статическое давление на грунт. Как показывает практика, чем меньше статическое давление на грунт, тем больше ударов в одной точке необходимо выполнять для достижения грунтом требуемой плотности. Малые размеры подошвы трамбовки не только затрудняют производство работ, но делают их практически невозможными из-за выпора грунта при определенном пределе по диаметру.

Следовательно, оптимальная площадь основания трамбовки будет лишь в том случае, когда работа ($N_{фак}$), затрачиваемая на уплотнение грунта, будет минимальной (N_{min}), т.е.

$$N_{фак} = M \cdot H \cdot \frac{B}{A} \cdot n \in N_{min}, \quad (3)$$

где: M – масса трамбовки, принимаемая с учётом грузоподъёмности механизма, тс; H – высота сбрасывания трамбовки, м; B – площадь участка в

пределах которого требуется уплотнение грунтов, m^2 ; A – площадь основания трамбовки, m^2 ; n – число ударов трамбовки в одной точке.

Анализ особенностей уплотняемой зоны оснований и направления нормалей к площадкам главных максимальных деформаций сжатия при использовании тяжёлых трамбовок с круглой плоской подошвой показывает, что в этой зоне происходит в основном радиальное направление таких нормалей, т. е. с преобладанием радиальных деформаций над вертикальными. Это и обуславливает на начальном этапе уплотнения сжатие центральной зоны (столба) грунта с последовательным радиальным его боковым расширением, вызывающим радиальное сжатие грунта в периферийной зоне.

При относительно высокой плотности грунта периферийной зоны радиальное сжатие может сопровождаться его выпором. Всё это и определяет основные факторы механизма деформации периферийной зоны: естественная плотность грунта; степень радиального расширения и уплотнения грунта в центральной зоне; величины сил трения на контакте центральной и периферийной зон.

Имеющиеся исследования [1-5] в целом позволяют определить эти закономерности. На рисунке 6 приведены графики взаимосвязи d_{mp} со свойствами уплотняемых грунтов и технологическими параметрами.

Анализ этих графиков позволил определить предпочтительный диапазон взаимосвязей требуемых свойств грунтовых оснований и конструктивно-технологических параметров тяжёлых трамбовок. Характер взаимосвязей $S_{cm} = f(d_{mp})$, $\sqrt{MgH} = \varphi(d_{mp})$, $m = \psi(d_{mp})$ и $\nu = \zeta(d_{mp})$ позволяет сделать вывод, что оптимизация процесса уплотнения может быть ориентирована и на выбор форм поверхностей подошвы трамбовок, т.е. использование вместо плоских – криволинейных поверхностей подошвы.

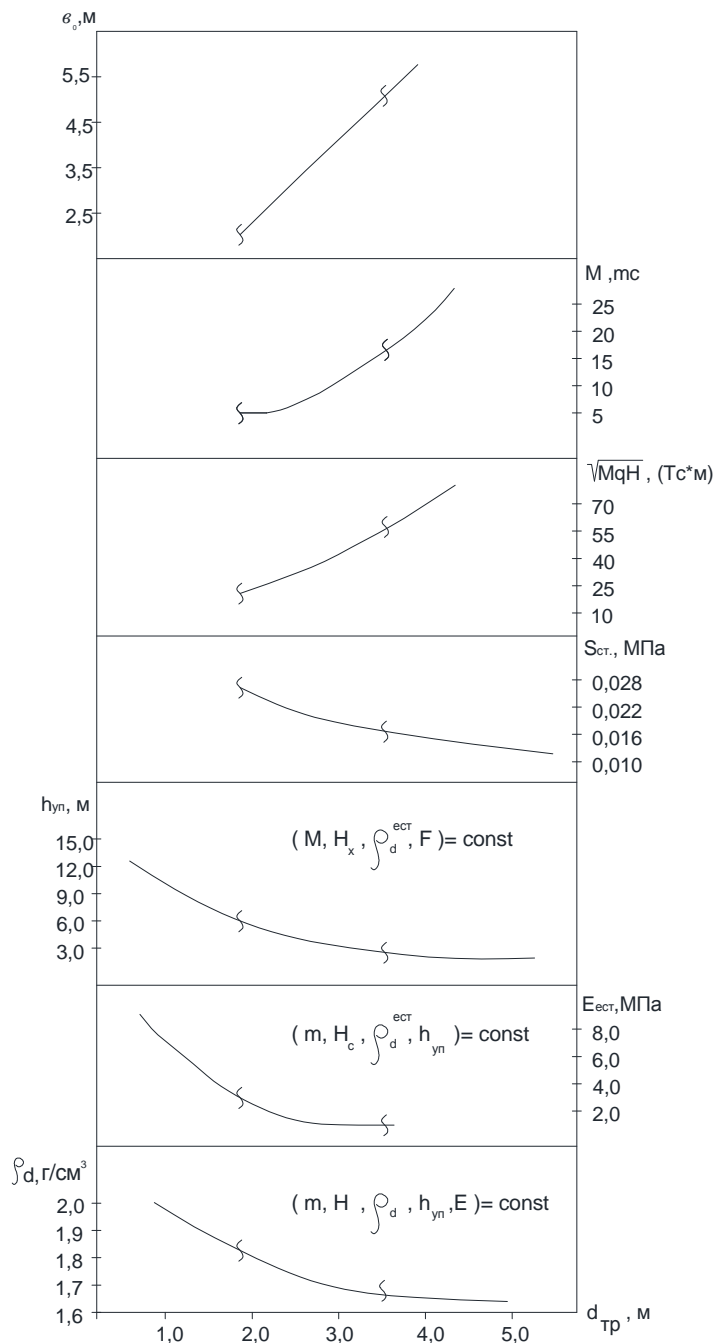
В качестве криволинейных поверхностей подошвы трамбовок рассмотрены два варианта – сфера вращения и сфероид (рис. 7).

Анализ особенностей формирования контуров зон уплотнения грунта трамбовками с выпуклой сферической и сфероидной и выпукло-вогнутой сфероидной подошвами позволил установить следующее. Оптимальным вариантом уплотнения грунтов тяжёлыми трамбовками с технологической точки зрения при обеспечении максимальной глубины зоны и достаточно однородной степени уплотнения является двухэтапное: в начальный период – трамбовками с выпуклой сфероидной подошвой, а затем – трамбовками с вогнутой сфероидной подошвой. Бесспорно, это требует создания специальных конструкций тяжёлых трамбовок.

Отметим, что некоторым аналогом тяжёлой трамбовки, которая в некоторой мере не допускает выпора грунта в периферической зоне уплотнения, является рекомендуемая ТКП 45-5 01-107-2008 [6] конструкция трамбовки (рис. 8а). Она состоит из цилиндрической емкости (1), заполненной в нижней части (2) забетонированными металлическими отходами, а в верхней – тяжёлым бетоном. К ее боковой поверхности посредством кронштейнов (3) крепится фланец уширения (4).

Принципиальным отличием является форма фланца: плоский заменён на сферический шестисекционный. Такая конструкция трамбовки позволяет обеспечить переход от выпуклой формы фланца к вогнутому (рис. 8б).

Изменённая форма подошвы трамбовки определяет необходимость корректировки расчётных зависимостей с учетом ее конструктивно-технологических параметров.



M – масса трамбовки; $h_{уп}$ – мощность уплотняемой зоны; v_0 – расстояния между точками трамбования; MgH – энергия одиночного удара; $E_{ест}$ – модуль деформации; $S_{ст}$ – статическое давление на грунт; H – высота сброса

Рис. 6. График взаимосвязи диаметров трамбовок со свойствами уплотняемых грунтов $d_{тр} = f(P_d^{mp}, E_{ест})$ и технологическими параметрами

$$d_{тр} = \varphi(h_{уп}, S_{ст}, M, H, \sqrt{MgH}, \epsilon_0)$$

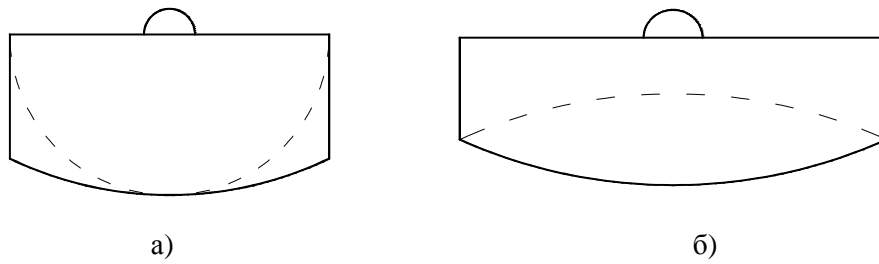


Рис. 7. Принципиальные схемы трамбовок:
 а) с выпуклой подошвой (сферической и сфероидной); б) с выпуклой-вогнутой сфероидной подошвой

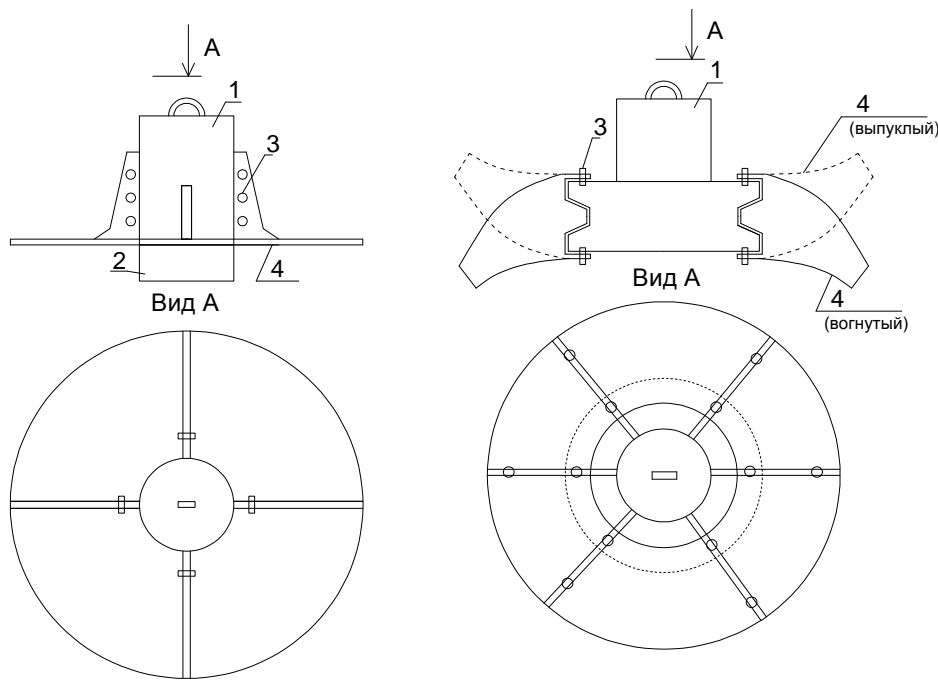


Рис. 8. Конструктивная схема тяжёлых трамбовок:
 а) рекомендуемая по ТКП [6]; б) предлагаемая авторами.

Проведенные исследования позволили для определения оптимального диаметра трамбовки с криволинейной подошвой получить расчётную зависимость:

$$d_{mp} = \frac{1.75 \cdot M \cdot H \cdot (1 - \nu^2)}{k_0 \cdot \left(\frac{\gamma_d^1 - \gamma_d}{\gamma_d^1} \cdot h_{yn} \right)^2 \cdot E} \quad (4)$$

где: ν – коэффициент относительной поперечной деформации грунта; γ_d^1 и γ_d – соответственно удельный вес грунта после и до уплотнения; h_{yn} – глубина зоны уплотнения; E – модуль деформации грунта до уплотнения; k_0

– коэффициент, учитывающий неупругие свойства грунта при повторных нагрузениях и скорость удара.

Сопоставление диаметров трамбовок с плоской и криволинейной формой подошвы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Диаметры трамбовок определенные по различным методикам для экспериментальных объектов

Объект исследований, грунт	М, т/с	Н, м	$h_{ут.}$, м	$\rho_d^{есм.}$, т/м ³	Е, МПа	$\rho_d^{мп.}$, т/м ³	$d_{тр,м}$	
							с плоской подошвой (принятый)	с криволинейной подошвой
Насыпь Загорской ГЭС	13	12	5,5	1,62	1,0	1,98	2,8	2,60
	15	15	5,5	1,62	1,0	1,98	2,8	3,7
Насыпь Кайшадарской ГАЭС	15	15	6,0	1,63	1,4	1,96	2,8	3,1
Аллювиальные отложения надпойменной террасы	25	25	7,8	1,72	3,3	1,94	3,95	4,6
Насыпные глинистые грунты	3,5	6,0	3,2	1,49	1,3	1,75	1,8	1,35
	5,5	6,0	4,25	1,53	0,95	1,78	2,0	1,65
Супесь пластичная	12	10	6,0	1,4	6,0	1,50	3	2,1
Стройплощадка капролактама Гродненского ПО «Азот»	7	12	3,0	1,66	4,2	1,79	2,0	1,75

Сравнительный анализ диаметров применяемых в практикетрамбовок и определённых по действующим нормативным документам [6], а также по предложенной методике показывает, что обеспечить требуемые свойства уплотнённых грунтовых оснований позволяют трамбовки меньшего диаметра с криволинейной подошвой при выполнении технологических рекомендаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пойта, П.С. Исследование зоны уплотнения при применении тяжелых трамбовок [Текст] / П.С. Пойта, А.Н. Тарасевич // Архитектура и строительные конструкции. – 1992. – С. 69-73.
2. Пойта, П.С. Влияние физико-механических свойств уплотняемого грунта на оптимальный диаметр трамбовок [Текст] / П.С. Пойта // Строительство. – 2003. – №1. – С. 243-247.

3. Пойта, П.С. Оптимизация технологических параметров уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками [Текст] / П.С. Пойта // Строительство и архитектура.– 2003. – №1 (19). – С. 109-110.
4. Пойта, П.С. Особенности формирования зоны уплотнения грунтов при уплотнении грунтового основания тяжелыми трамбовками [Текст] / П.С. Пойта, П.В. Шведовский, Д.Н. Клебанюк // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовка инженерных кадров в Республике Беларусь.– 2012. – С. 189-196.
5. Клебанюк, Д.Н. Особенности процесса распределения давлений и напряжений при уплотнении неоднородных грунтовых оснований тяжелыми трамбовками [Текст] / Д.Н. Клебанюк, А.Ю. Дроневиц, П.В. Шведовский, П.С. Пойта // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовка инженерных кадров в Республике Беларусь. – 2012. – С. 239-244.
6. Грунтовые основания, уплотнение тяжелыми трамбовками. Порядок проектирования и устройства [Текст]: ТКП 45-5.01-107-2008 (02250). 2008. – 33 с.
7. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн // Наука.– 1973. – 831 с.
8. Шведовский, П.В. Влияние конструктивных параметров и особенностей формы подошвы тяжелых трамбовок на формирование свойств грунтов в зоне уплотнения [Текст] / П.В. Шведовский, П.С. Пойта, Д.Н. Клебанюк // Строительство и архитектура.– 2013. – №1. – С. 20-23.

Материал поступил 21.12.13.

P.S. Poyta, P.V. Shvedovskiy, D.N. Klebanyuk

Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus

FEATURES OF GEOTECHNICAL TECHNOLOGIES OF THE DEVICE OF THE ARTIFICIAL BASES IN BUILT-UP TERRITORIES WITH DIFFICULT ENGINEER-GEOLOGICAL CONDITIONS

Results of the analysis of technological and constructive aspects of the device of the artificial bases are presented by methods of intensive shock consolidation. It is established that as design data – the weight and a form of a sole of tampers, and technological – the arrangement of points and a consolidation phasing in many respects define possibility of receiving the qualitative bases for any engineer-geological conditions at the minimum energy consumption, terms of the device and cost of works.

Keywords: artificial basis, heavy tamper, design data, technological schemes, calculation, optimization.

ӘОК 547.722.132 : 316.422

Е.І. Рүстем¹, Ж.Ж. Бапанова²¹Магистр, аға оқытушы ²Оқытушы

М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қаласы

**АСА ГИДРОФОБТЫ ҚАПТАМА – ПОЛИФУНКЦИОНАЛДЫҚ
НАНОҚҰРЫЛЫМДЫ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ЖАҢА ТИПТЕРІ**

Аса гидрофобты материалдардан жасалған қаптамалар үлкен тәжірибелік қызығушылық тудырып отыр, өйткені олардың құрамына өте сирек кездесетін функционалды топтар кіреді. Инновациялық жағынан бұл материалдарды тек нанотехнологияны және наноматериалдарды қолдану арқылы алуға болады. Мақалада алынған материалдардың теориялық негіздері қарастырылды, тәжірибелік қолдану бойынша талдаулар ұсынылды. Қазіргі таңда қолданып жүрген негізгі әдістердің түрлері көрсетілді. Аса гидрофобты қаптаманың химиялық және физикалық табиғаты талқыланды.

Кілт сөздер: аса гидрофобты, сулану гистерезисі, жұғу бұрышы, гидрофильді, лиофильді, гидрофобты, флюидалы фаза.

Қазіргі таңда басқа елдерде аса гидрофобты материалдармен қаптамалар қарқынды түрде өңделуде және үлкен тәжірибелік қызығушылық тудырып отыр. Осылардың ішіндегі маңыздысы – суды өткізбейтіндігі, бейорганикалық жағынан биологиялық қаптаманың өсуінің тұрақтылығы, органикалық ластануды болдырмайтындығы, коррозияға төзімді және гидрофобтық қаптамадағы су ағыны сырғып домаланып ағып кетуіндігі болып табылады.

Ғылыми зертханада аса гидрофобты материалдарды зерттеу мен іздену жұмыстары ХХІ ғасырда ғана басталды. Өйткені беткі қабатындағы сұйық ортаның әрекеттесуінің жалпы теориясының жазылуы, экстремалды түрде сулануының сипаттамасы соңғы он жылда ғана жасалды, және аса гидрофобты қаптаманы тек нанотехнология және наноматериалды қолдану арқылы алуға болады. Сондықтан нанотехнология деңгейінің қарқынды дамуына және аса гидрофобты материалдардың алыну технологиясына байланысты болып отыр. Аса гидрофобты материалдарының қасиеттері бұл сулану құбылыстарына жатады, сол себептен аса гидрофобты негіздеріне қысқаша [1] тоқталамыз.

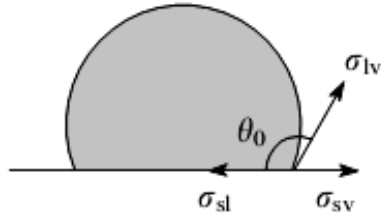
Беткі қабаттарының сулану құбылысы үш фазамен анықталады, ол сулану ортаның тепе-теңдігі, сулану сұйықтығы және үшінші флюидалы фаза, бұлар қоршаған ортада маңызды роль атқарады.

Беткі қабаттарының сулануының негізгі сипаттамаларының бірі ол суланудың микроскопиялық жұғу бұрышы және оның гистерезисі. Жұғу бұрышына қатысты мысал келтірсек, жүйедегі қатты дене ол сұйықтық, ал будың микроскопиялық жұғу бұрышы дегеніміз бу-сұйықтықтың беткі қабатының бөлігі арасындағы бұрышы және қатты дене-сұйықтық сызықты бойлай үш фазамен байланысады (1-сурет).

Осыдан 200 жыл бұрын «An Essay on the Cohesion of Fluids» классикалық жұмыстарының бірінде Т. Юнг мынаны жазды: тепе-теңдік кезіндегі микроскопиялық жұғу бұрышының термодинамикасының көрсеткішімен θ белгіленеді, одан кейін жүйе басқа да термодинамикалық

параметрлер көрсеткіштерімен де көрсетілді: қатты дене-бу беткі қабатының арасындағы шекарасының энергиясы σ_{sv} , қатты дене-сұйықтық σ_{sl} және сұйықтық-бу σ_{lv} :

$$\cos \theta_0 = \frac{\sigma_{sv} - \sigma_{sl}}{\sigma_{lv}} \cos \theta_0 \quad (1)$$



Сурет 1. Жұғу бұрышын анықтау

Осы формула арақатынастардың теңдеуі алынды, оны кейінгі уақытта «Юнг теңдеуі» деп атады, бұл жерде жұғу бұрышын өзгерту үшін, беткі қабаттарының қалыңдығын бірнеше нанометрге өзгерту жеткілікті, олар сәйкес келетін беткі қабатының энергиясымен анықталды.

Демек екінші [2, 3] суланудың сипаттамасы ол – гистерезис немесе сұйық ортаның жұғуы мен ағуындағы үш фазаның түйісу сызығының жұғу бұрышының арасындағы айырмашылықтары болып табылады. Жалпы алғанда, жұғу мен ағу бұрышы үш фазаның түйісу сызығының қозғалыс жылдамдығына тәуелді болатыны эксперимент жүзінде дәлелденген, бұл шама гистерезис мөлшеріне әсер етеді. Осыған байланысты, гистерезис ұғымы толық зерттелмегенін көруге болады. Әдебиеттегі мәліметтер бойынша «сулану гистерезисі» ұғымын өте қатаң түрде тепе-теңдік ортадағы жұғу мен ағу бұрышының айырмашылықтарымен байланыстырады, нәтижесінде үш фазаның түйісу сызығы қозғалыс жылдамдығына сәйкес келіп, нольге тең болады.

Суланудың беткі қабатының жұғу бұрышының мөлшері әртүрлі типтерге бөлінеді (2-сурет). Егер сулы ортадағы сулануды қарастыратын болсақ, онда барлық материалдар гидрофильді және гидрофобты болып бөлінеді. Ал сулы емес ортадағы сұйықтық лиофильді және лиофобты материалдар болады. Қазіргі таңдағы классификация бойынша гидрофильді материал бұл сулы ортада жұғу бұрышы нольге тең немесе көрсеткіш интервалы 0-ден 90° жетеді. Гидрофобты материалдардың жұғу бұрышы 90-нан 180°-дейін сипатталады. Егер жұғу бұрышы 180° болғанда (толық суландырса), тамшы беткі қабатының бір ғана нүктесімен [2] жанасады, бұл гипотетикалық құбылысқа жатады және тәжірибе жүзінде іске аспайды.

Кейбір жағдайларда гидрофобты материалдар аса гидрофобты материал болып табылады, олардың жұғу бұрышы 150° жоғары және гистерезисі төмен болуымен сипатталады, оның көрсеткіштері 1-3° аспайды. Демек, тамшы беткі қабатындағы горизонтқа аз мөлшерде иілгеннің өзінде аса гидрофобты қаптаманың бетінде домалананып сырғып, ағып кетеді. Жұғу бұрышы қағидаға сәйкес, 15° төмен, ал тамшы радиусы 1-2 мм.

Соңғы жылдардың зерттеулері бойынша жұғу бұрышының маңызды жетістіктерінің бірі ол 150° шамадан артуы, бұл қатты дене-бу бөлігіндегі шекарасының беткі қабатының энергиясын бір қалыпты төмендеткенде, беткі қабатында кедір-бұдырдың көбеюіне мүмкіндік туады [3]. Сондықтан беткі

қабаттың сулануына осы факторлардың әрқайсысы қалай әсер ететінін толығымен қарастырамыз.

Гидрофильді, лиофильді материалдар

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Толық суландыру} \qquad \qquad \text{бу} \\ \sigma_{sv} \geq \sigma_{sl} + \sigma_{lv} \quad \theta_0 = 0 \quad \boxed{\text{Жидкая плёнка}} \quad \text{қатты дене} \\ \text{Суландыру кезінде} \qquad \qquad \text{сұйық} \downarrow \quad \text{бу} \\ \sigma_{sv} > \sigma_{sl} \quad 90 > \theta_0 > 0 \quad \text{қатты дене} \end{array} \right.$$

Гидрофобты, лиофильді материалдар

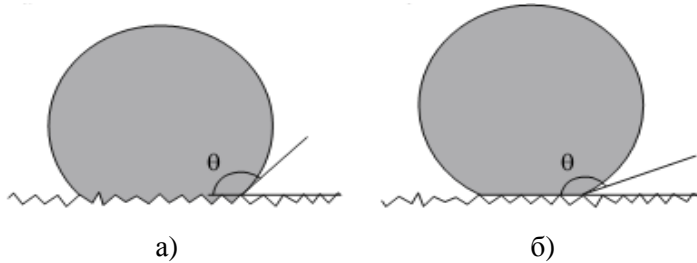
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Суланбайды} \qquad \qquad \text{сұйық} \downarrow \quad \text{бу} \\ \sigma_{sv} < \sigma_{sl} \quad 90 < \theta_0 < 180^\circ \quad \text{қатты дене} \\ \text{Толық суланбайды} \qquad \qquad \text{сұйық} \downarrow \quad \text{бу} \\ \sigma_{sv} \geq \sigma_{sl} - \sigma_{lv} \quad \theta_0 = 180^\circ \quad \text{қатты дене} \end{array} \right.$$

Сурет 2. Суландыру типтері

Беткі қабаттың энергиясын төмендету үшін Юнг теңдеуінің анализдеріне жүгінеміз. Егер жұғу бұрышының мәні 90° жоғары болғанда, жұғу бұрышының косинусының мәні теріс көрсеткіштерге сәйкес келеді, ол тек беткі қабаты қатты денеде ғана төмен көрсеткіш мәнін σ_{lv} көрсететін материалдар болуы мүмкін. Сол себептен көптеген конструкциялық материалдар, мысалы, металдар мен оның оксидтерінің беткі қабаттарының энергиясы жоғары көрсеткіштерімен сипатталады. Сондықтан оларды төмендету үшін мұндай материалдардың беткі қабаттарына соңғы деңгейінде наноөлшемді қабаттан құралған гидрофобты қосылыстарын енгізген жеткілікті, нәтижесінде беткі қабаттың энергиясы төмендейді. Қазіргі кезде химиялық қосылыстардың ішіндегі фторорганикалық қосылыстардың беткі қабаттының энергиясы ең төмен көрсеткіш көрсететіні белгілі, осыған байланысты беті тегіс қабатына жұғу бұрышы $120-125^\circ$ көрсеткіштеріне сәйкес келеді. Бұл тегіс қабаттарға гидрофобты қосылыстармен химиялық жолмен өңдеу арқылы қол жеткізуге болады.

Кедір-бұдырлы немесе тегіс қабаттардың бетін суландырған кезде, өлшенетін бұрыштың шетінде ауытқулар туындайды. Осыған байланысты суландырудың екі әдістері келтірілді: гомогенді суландыру (Венцель әдісі) қатты дененің барлық беткі қабаты сұйықтықпен жанасады, нәтижесінде

беткі қабаттағы [4, 5] шұңқырлардың ішін толығымен толтырады (3-сурет, а) және гетерогенді суландыру (Касси-Бакстера әдісі) беткі қабаттардың шұңқыр ішінің бедері ауамен толысады (3-сурет, б). Суландырудың екі әдісі тепе-теңдік күйде болуымен және Юнгтың жұғу бұрышымен сипатталады.



Сурет 3. Гомогенді (а) және гетерогенді (б) суландыру әдістері

Біріншісі θ бұрышқа сәйкес келеді, ол беткі қабатындағы сұйықтық дөңес не ойыс бетін тамшылармен толтырады, ал қатты дененің бетін толығымен байланыстырады. Екінші бұрыш θ_0 сұйықтың ойыс бетінің арасымен және жергілікті аймақтың қатты дене бетіндегі үш фазалы зона арқылы түйісетінімен сипатталады. Юнг бұрышының арақатынасына байланысты (1) ең біріншіден беткі қабаты жанасқан заттың химиялық құрамына байланысты анықталады. Гомогенді суландыру әдісі бойынша аймақтағы бұрыштың шетін нәтижелі түрде Дерягин-Венцель арақатынасы негізінде есептейді:

$$\cos \theta = \frac{S}{S_0} \cos \theta_0 = r \cdot \cos \theta_0 \quad (2)$$

ондағы $r = \frac{S}{S_0}$ – кедір – бұдырлы дене аймағының коэффициенті; S – беткі қабаттың нақты аймағының арақатынасы; S_0 – жанама аймағының арақатынасы.

Осы гомогендік әдістегі арақатынастың нәтижесі кедір-бұдыр қабаттың бетін суландырғанда, гидрофобты қабаттың бетіндегі бұрыштың шеті $\theta_0 > 90^\circ$ жоғарылайды және гидрофильді беткі қабаты керісінше $\theta_0 < 90^\circ$ төмендейді.

Екінші суландыру әдісінде сұйықтық пен кедір-бұдыр дене арасының шекарасы гетерогенді болса және қатты дене бұрыштың шетінен және шұңқырдан тұрып, жарым-жартылай немесе толығымен ауамен толтырылса, (3-сурет, б) онда жұғу бұрышы нәтижелі түрде Касси-Бакстера арақатынасымен анықталды:

$$\cos \theta = f \cdot r_f \cdot \cos \theta_0 + f - 1 \quad (3)$$

ондағы f – кедір-бұдырлы дененің беткі қабатының аймағы суланғанда шұңқыр рельефтерінің біртіндеп толу проекциясы; r_f – кедір-бұдырлы қабат бетінің сулану коэффициенті.

Осыған байланысты $f \rightarrow 1$ беткі қабаты суланғанда гетерогендік әдістен гомогендіге өтеді, (3) мен (2) формула арақатынасы $f \rightarrow 0$ жағдайда беткі қабаты толығымен суланбайтынын көрсетеді. Гетерогендік әдістегі [6] суландырудың анализ теңдеуінің нәтижесі жұғу бұрышының мәні 150^0 жоғары екені дәлелденді және суланған аймақтың өзі 10% төмен болғаны байқалады. Осы гетерогенді әдісте беткі қабатын суландыру негізгі факторлардың бірі болып табылады, ол аса гидрофобты материалдар мен қаптаманың қорғаныш қасиеттерімен сипатталады. Гетерогендік режимде беткі қабаттың суландыру процесі бұл негізгі факторлардың бірі болып табылады, ал аса гидрофобты қаптама мен материалдар жоғарғы қорғаныш қызметін атқарады.

Суландыру әдісін анықтау үшін бұл жүйе термодинамикалық тұрақты болып қарастырылады және Гиббстің бос энергиясының өлшемі күйінде есептеліп салыстырылды. Осы жүйе қалыпты және тұрақты күйде болатынын жеңілдетіліп көрсетілді. Бұл жердегі екі бұрыштың венцелевский мен касси-бакстеровский көрсеткіштерінің өлшемдерінің мәнін төменгі көрсеткіште алсақ, онда оның энергиясының өлшемі де төменгі мәнге ие болады, сол себептен ол термодинамикалық өте тұрақты күйге ауысады. Осыған байланысты күрделі рельефтің өзгерген аймағындағы θ және f жүйеде Гиббстің бос энергиясы бірнеше минимумға дейін жетеді, нәтижесінде энергетикалық кедергілер туындайтыны байқалады. Осындай жағдайларда жүйеде тұрақты күй орнайды. Егер төменгі көрсеткіштерден өте тұрақты күйге ауысқанда кедергілер белгісіз себептерден пайда болады, ал жоғарғы көрсеткіштердің әсерінен кернеулер ауытқиды (мысалы, тамған тамшының вибрациясы мен кинетикалық энергиясы).

Гидрофобтың беткі қабатын суландыру режимінің ең маңызды ерекшеліктері бар. Ол гомогенді режимде кедір-бұдыр қабаттың көбеюіне сәйкес келіп, бұрышы нәтижелі түрде артады және жұғу гистерезисі бір уақыт бойымен өседі, ал гетерогенді режимде бұған керісінше тенденцияға ие болады.

Жоғарыда көрсетілген мәліметтерді қорытындылайтын болсақ, аса гидрофобты материалдар алу үшін ең біріншіден беткі қабаттарын өңдеуден өткізу қажет, нәтижесінде Юнгтың жұғу бұрыштарының мәні 90^0 жоғары болуы тиіс, ал екіншіден гетерогендік режимде жұғу бұрышы $\theta > 150^0$ мәнін көрсетеді және термодинамикалық тұрақты болуын қамтамасыз етеді. Адсорбцияланған гидрофобты агенттер беткі қабаттармен физикалық және химиялық табиғаттағы күйде әсерлеседі. Беткі қабаттың физикалық адсорбциялық байланысы бұл кәдімгі өте әлсіз физикалық дененің әрекеттесуімен анықталады, мысалы Вандерваальс күші. Ол сумен ұзақ уақыт бойы әрекеттеседі, нәтижесінде беткі қабатындағы адсорбцияланған молекулалардың жойылуына (десорбциялануына) алып келеді. Физикалық адсорбция әдісін қолдану мақсатында алынған қаптама ұзаққа шыдамайды, оны тек конструкциялық материалдарға қолданады. Ал, гидрофобты агенттердегі химиялық адсорбция әдісі бұл материалдардың өте жоғарғы мәндегі көрсеткіштерінің энергиясының әрекеттесуімен сипатталады. Бірақ хемосорбция әдісіне гидрофобты агенттің құрамындағы молекула реакциялық қабілеттілігі бар топқа сәйкес және беткі қабатын өңдейтін заттар реакциялық белсенді болуы тиіс. Химиялық адсорбциялық белсенді заттар ретінде перфторалкил-метаакрил сополимері, фтордецил-полиэдрлі силсесквиоксандары, функционалды перфтороксидан мен полидиметил-

силоксандары жатады. Сондықтан осы қосылыстарға келешекте толық зерттеулер жүргізілуі қажет.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бойнович, Л.Б. Гидрофобные материалы и покрытия [Текст]: принципы создания, свойства и применение / Л.Б. Бойнович, А.М. Емельяненко // Успехи химии. – 2008. – Т. 77. – № 7. – С. 619-638.
2. Voinovic, L. 2009. Principles of design of superhydrophobic coatings by the deposition from dispersions. In *Langmuir*. 2009, Vol. 25, No 5, pp. 2907-2912.
3. Tuteja, A. 2007. Designing superoleophobic surfaces. In *Science*. 2007, Vol. 318, pp. 1618-1622.
4. Voinovich, L.B. 2011. The prediction of wettability of curved surfaces on the basis of the isotherms of the disjoining pressure. In *Colloids and Surfaces. A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2011, Vol. 383, No 1, pp. 1-16.
5. Steele, A. 2009. Inherently Superoleophobic Nanocomposite Coatings by Spray Atomization. In *Nanoletters*. 2009, Vol. 9, pp. 501-505.
6. Li, Y. 2007. Silver Hierarchical Bowl Like Array: Synthesis, Superhydrophobicity, and catalytic Properties. In *Langmuir*. 2007, Vol. 23, No 19, pp. 9802-9807.

Материал 29.11.13 түсті

E.I. Rustem, Zh.Zh. Bapanova

Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz

SUPERHYDROPHOBIC COVERINGS IN NANOTECHNOLOGIES THE NEW CLASS OF MULTIFUNCTIONAL MATERIALS

Superhydrophobic materials and coverings represent great practical interest as possess a number of unique functional characteristics. Thanks to wide innovative prospects of application of these materials there was even a separate direction of modern materials science. In work theoretical basics of creation of similar materials and coverings are briefly covered, the analysis of their practical application is submitted. The main groups of the methods which are actively used in the present for creation of materials and coverings with set topology, structure and varied water repellency are presented. Problems of aging and degradation of superhydrophobic coverings are discussed.

Keywords: superhydrophobic, moistening hysteresis, corner wetting, hydrophilic, liophobic, hydrophobic, liofilic, a fluid.

ӘОК 546.12 : 542

Е.І. Рүстем¹, Г.Ш. Тельбаева² Д.А. Кулбаева³¹Магистр, аға оқытушы, ³Магистр, оқытушы

М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз қаласы

²Химия пәнінің мұғалімі

№2 К.Е. Ворошилов атындағы орта мектебі, Құлан ауылы, Жамбыл облысы

**АГЛОМЕРАЦИЯЛЫҚ ГАЗДАР ҚАЛДЫҚТАРЫМЕН ФОСФОРДЫҢ
ЖӘНЕ КҮКІРТТІҢ ҚОСЫЛЫСТАРЫН ТАЗАЛАУ**

Жұмыс фосфор, күкірт және фтор қосылыстарының газ фазасына ауысу жағдайларын анықтауға арналған. Коррозиялық тұрақтылық пен қоршаған ортаны қорғау негізінде фосфориттердің агломерациялану жағдайлары анықталды. Агломерациялық газдарды фосфор, фтор және күкірт қосылыстарынан тазарту процесі өңделінді. Агломерациялық газдар құрамында котрельді сүттің әсері зерттелді. Сондықтан газ фазасындағы фосфорит агломерациясындағы фосфор, фтор және күкірт қосылыстарын тазалау процесінің ауыспалы дәрежесі келтірілген.

Кілт сөздер: фосфор құрамы, агломерациялық газдар, фтор, күкірт, коррозия күштері, газ фазасы, котрельді сүт.

Фосфориттердің агломерация процесінде бөлінетін фосфор, фтор және күкірт қосылыстары туралы әдебиет мәліметтерінде өзгешеліктер байқалады. Фосфат шикізат қосылыстарының агломерациялары нақты жағдайдағы толық концентрациялары мүмкіндігінше көрсетілген. Қазіргі кезде газ фазасындағы фторды күйдіру кезіндегі отынның шығынына байланысты 4-13% шамадағы дәрежеде ауысады [1].

Авторлардың [2, 3] жұмыстарында фосфориттердің агломерациясының қалыпты жағдайда фтордың 0,15-0,20 % шамасы ғана бөлінеді. Газ фазасындағы күкірт қосылысының ауысатын дәрежесі әлі толық зерттелмеген.

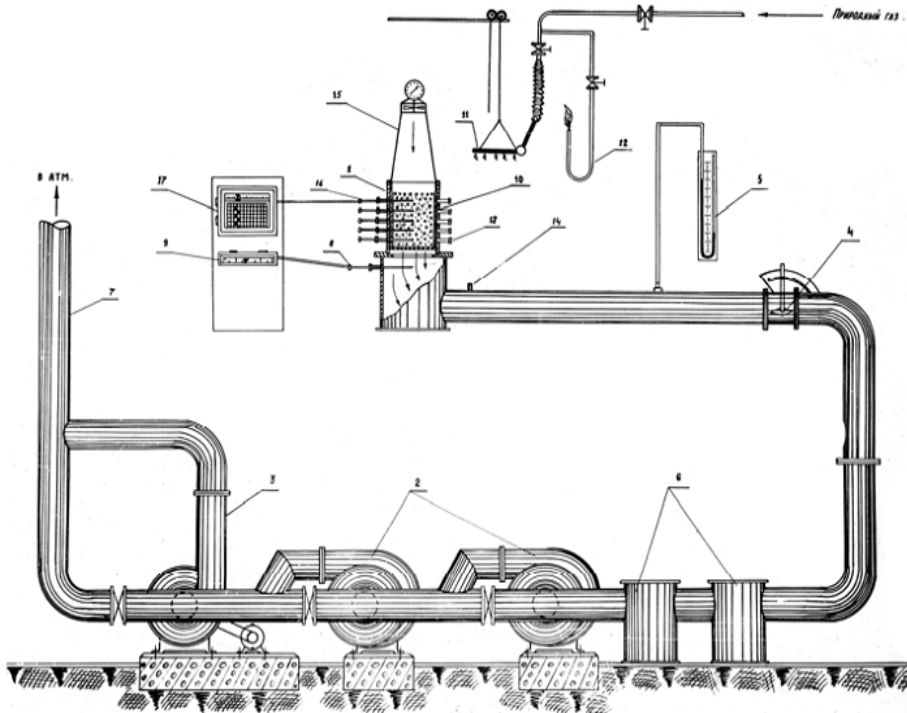
Осы жұмыста газдың концентрациясы 600-700 мг/м³ болған кезде, күкіртті және күкірт ангидридін (SO₂ және SO₃) газ фазасындағы шихтадан 45-50 % дейінгі шамада күкірт бөлінетіні көрсетілген.

Басқа авторлардың [1] жұмыстарында фосфориттерді күйдіру кезіндегі десульфилдеу дәрежесі бастапқы руда қосылыстарының пішініне байланысты 88% және одан жоғары шамаға жетеді, ал агломерациялық газдардың құрамындағы күкірт қосылыстары 1500-2000 мг/м³ жоғарылайтыны көрсетілген.

Осы жерде котрельді сүтті қайта [2] пайдалану мүмкіншілігі туындап отыр. Осыған байланысты оны шихтаға қосу арқылы, агломераттың беріктілігін жоғарылатқанда, 3% өнімділігін арттырды немесе фосфордың жойылуын 4% дейін төмендетті. Сонымен қатар, оның сақтауына арналған бассейндердің салуына күрделі шығындарды шығарып, маңызды жер алаңдарына қалдықтарды тастағанша, қайта котрельді сүтті өндіріс циклінде қайта пайдалану процесінде қолданған өте тиімді болып табылады.

Котрельді сүтті шихтаға жіберудің мақсаты ол шихтаны суландырады, одан қайта өңделген компоненттердің химиялық құрамын білу өте қиын. Сондықтан түзілген котрельді сүттің құрамында элемент фосфорының және оның қосылыстарының концентрациясы анықталды. Бұдан бұрын

агломерациялық газдар құрамына котрельді сүттің әсері зерттелген болатын. Сондықтан котрельді сүт қатысында газ фазасындағы фосфорит агломерациясындағы фосфор, фтор және күкірт қосылыстарын тазалау процесінің ауыспалы дәрежесіне зерттеулер жүргізу арқылы келтірілген. Зерттеулер 1-суреттегі қондырғыда жүргізілді.



1 – аглоидыс; 2 – ауа үргіш; 3 – вентилятор ВВД–8; 4 – жапқыш; 5 – манометр; 6 – шаң сүзгіш; 7 – бөілетін газды құбырдан бөлу; 8 – термобу; 9 – потенциметрия; 10 – төгетін ыдыс; 11 – газдық жанарғы; 12 – қопарғышты тұндыратын, от алатын орын; 13 – штуцер – қысымды биіктігі бойынша өлшеу; 14 – штуцер – сынама газды жинау; 15 – қондырылған анемометр; 16 – әртүрлі нүктенің термоқызуы; 17 – потенциметрия.

Сурет 1. Зертханалық агломерация қондырғысының сызба нұсқасы

Күйдіру процесі кезіндегі газдың сынамасы фосфор, фтор және күкірт қосылыстарының концентрациясын анықтау үшін алынып отырды. Бұл жерде Жаңатас ұсақ фосфорит өлшемінің ірілігі 10 мм шамада алынып, күйдіру процесі арқылы тәжірибе жүргізілді. Руданың химиялық құрамы 1-сынама бойынша анықталды (1-кесте).

Кесте 1

Ұсақ фосфориттің химиялық құрамы

Сынама	Құрамы, %						
	P ₂ O ₅	қ.ж.	CaO	MgO	R ₂ O ₃	R ₂ O	б.қ.
Сынама 1	21,80	23,47	37,73	1,61	3,58	1,08	9,49

Тәжірибеде агломерацияның шарттары технологиялық регламент нормасы бойынша жүргізілді. Шихтадағы көміртегінің мөлшері 5,5% шамасын құрайды. Бастапқы руданың ішіндегі күкірт қосылыс түрлерінің әсерін анықтау үшін құрамында әртүрлі сульфат және сульфидтері бар фосфориттерді күйдіру арқылы сынама алынды. Фосфор, фтор, күкірт қосылыстарының концентрациясы тәжірибе жүзінде анықталды, нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

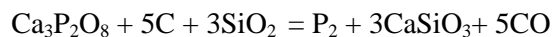
Газдың кейбір жүретін жолында ауа сорғышты сұйылту арқылы бөлінетін газды қосылыстарының концентрациясының есептеулері берілген. Сұйылту коэффициенті 1,67 шамасына тең деп алып есептелген. Ауа сорғыштың (40%) талапқа сай мөлшерінің оңтайлы көрсеткіштері төменде көрсетілген. Тәжірибе жүзінде алынған нәтижелері 2-кестеде көрсетілген, берілген концентрация көрсеткіштері [3] басқа да жұмыстарда табылған, ал авторлардың алынған нәтижелерімен айырмашылықтар кездеседі. Өндірістік жағдайда агломерациялық газдардың құрамына жүргізілген тәжірибе нәтижелері толық дәлелденді.

Кесте 2

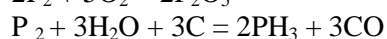
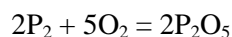
Жаңатас фосфориттердің агломерациялық газдары
фосфор, фтор және күкірт қосылыстарының концентрациясы

Қосылыстардың концентрациясы	Қосылыстардың құрамы, мг/м ³					
	P ₄	P ₂ O ₅	PH ₃	F ₂	SO ₂	SO ₃
Максималды	–	10,72	1,62	27,82	1750	85
Минималды	–	8,40	0,20	11,43	860	43
Орташа	–	9,83	0,86	16,62	1540	77
Сұйылту есебінде	–	5,87	0,52	9,98	97	46

Осы берілген мәліметтер бойынша, өндірістік қондырғыларда зертханалық зерттеу жүргізу нәтижесінде ауа сорғыш есебінде газды сұйылтып, өндірістік агломашинадағы агломерациялық газдың анализі орташа күйде болатыны анықталды. Мұның нәтижелері 3-кестеде келтірілген, фосфориттердің агломерациясында бөлінетін газдың құрамында фосфор элементінің жоқ екендігі дәлелденді. Бірақ теория жүзінде берілген жұмыстарда [5] бөлек микрокөлемдегі шихта қабатында 1503 К температурада пісіреді, бұл тотықсыздану реакциясы бойынша жүреді және түзілуіне қолайлы жағдай (жоғарғы температура, көміртегі мен кремнезем қатысуында) туындайды. Бұл реакция теңдеуі төменде берілген.



Осы жерде түзілген фосфор оттегімен және газ ағынындағы су буымен реакцияға түседі.



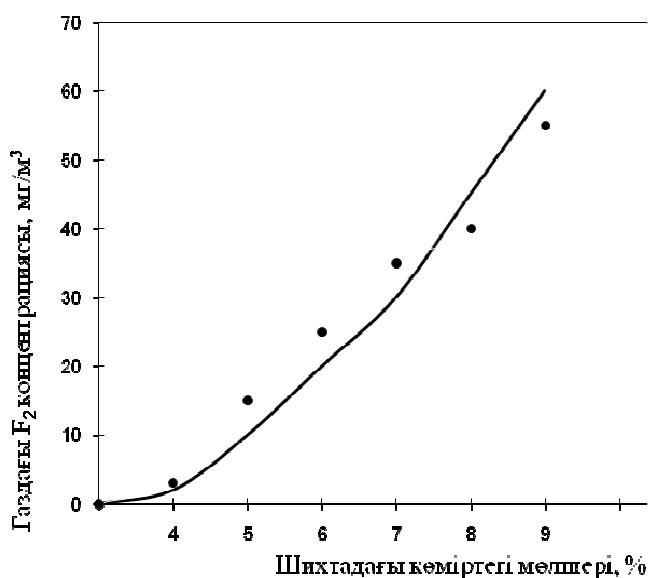
Осыған байланысты бос және газ күйіндегі су буын күйдіру қабатының бөлігінде жоғарғы температура арқылы сорғышта жиналады, одан кейін соңғы агломерациялық газда фосфор элементі жойылады. Өндірісте өткен зерттеудің мәліметтері бойынша фосфориттердің агломерациялық

процесіндегі P_2O_5 және PH_3 қосылысының түзілуінен фосфор элементті жойылады, оның дәрежесі бар болғаны 0 немесе 0,004% шамасын құрайды.

Кесте 3

Тәжірибе	Бөлінген фосфор, фтор және күкірт газ қосылыстарының құрамы				
	Қосылыстардың құрамы, мг/м ³				
	P_4	P_2O_5	PH_3	F_2	$S_{жалпы}$
Тәжірибе 1	–	8,80	0,47	7,31	1180
Тәжірибе 2	–	3,47	0,76	13,65	786

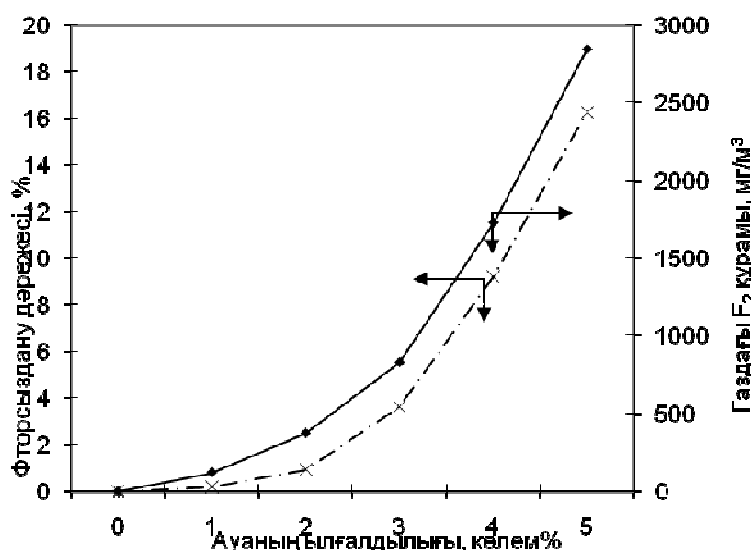
Өндірісте фтор дәрежесінің жойылуына зерттеулер жүргізу нәтижесінде, бастапқы шихтаның құрамындағы фосфорит агломерациясының шамасы 0,023-0,040% құрады. Бұл фтордың жойылу дәрежесіне қарағанда, жұмыста алынған көрсеткіштерінің (13 % және 0,15-0,20 %) шамасынан өте төмен болып келеді. Сондықтан, газ фазасына фтордың ауысуы тәжірибе шарттарына қатты әсер етеді. Осыған байланысты, отын көзінің жаратылған шығыны мен шихтадағы ылғал ауа қабаттарына сорылып, одан бөлінетін фтор газының дәрежесі [3] анықталды. Қабаттарға түсетін ылғал ауаны арттыру үшін, берілген мөлшерде бу жіберіліп отырды. Шихтадағы агломерациялық газдардың құрамындағы көміртегі, F_2 концентрациясы және фтордың жойылу дәрежесіне тәуелділігі 2-суретте келтірілген.



Сурет 2. Агломерациялық газ құрамындағы фтордың шихтадағы көміртегі мөлшеріне әсері

Шихтадағы көміртегінің құрамы жоғарылағанда, бөлінген газдағы фтордың концентрациясы бірден өсетінін 2-суреттен көруге болады. Мұны отынның шығыны жоғарылаған сайын, агломерацияның балқыту бөлімінде балқыманың мөлшері көбейеді және агломерат түзеді деп түсінуге болады. Әдебиеттер [7] мәліметтеріне сәйкес балқыманың түзілуінен фосфориттегі фтордың жойылу процесі бірден күшейеді. Өндірістік жағдайда агломерация процесін енгізу кезіндегі шихтадағы көміртегі құрамы 4,5-тен 6,5% дейін өзгереді. Сондықтан газдағы F_2 концентрациясы 25 мг/м³ аспауы қажет.

Газдағы фтордың концентрациясына байланысты және шихтаның пісіру қабатына түсетін ауадағы су буының құрамындағы фтордың жойылу дәрежесі 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3. Газдағы F₂ концентрациясына байланысты және шихтаның пісіру қабатына түсетін ауадағы H₂O буының құрамындағы фтордың жойылу дәрежесі

Алынған нәтижелер ауаны тағы да 3-5% (көлемді түрде) дейін ылғалдандырса, онда шихтадағы фтордың жойылу дәрежесі және агломерациялық газда F₂ концентрациясы бірден өсетінін дәлелдейді. Егер де кәдімгі ауаны (шамамен 1%) H₂O ылғалдандырса, онда шихтадағы фтордың жойылу дәрежесі және агломерациялық газда F₂ концентрациясының көрсеткіштері 0,04% және 10-12 мг/м³ шамасында шамалы ғана өзгереді. Осыған байланыты күйдіру қабатына түсетін судың немесе ауаның ылғалдылығын жоғарылатса, газдағы фтордың концентрациясы бірден артады.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Смородинников, А.В. Разработка технологии окускования фосфоритов Каратау для электротермического получения фосфора [Текст] / А.В. Смородинников. В кн.: Элементарный фосфор и продукты его переработки. – Л.: Химия, 1970. – 72 с.
2. Вегман, Е.Ф. Теория и технология агломерации [Текст] / Е.Ф. Вегман. – М.: Металлургия, 1974. – 288 с.
3. Фролов, Ю.А. Математическое моделирование теплообмена при агломерации методом просасывания [Текст] / Ю.А. Фролов, Л.Б. Битней, А.И. Ловецкая [и др.]. В кн.: Автоматизация процессов окускования железных руд. – Киев, 1976. – 104. с.
4. Шумаков, Н.С. Анализ фазовых превращений при агломерации фосфоритов на основе диаграмм состояния многокомпонентных систем [Текст] Н.С. Шумаков // Комплексное использование минерального сырья. – 1981. – №1. – С.16-25.

5. Вольфович, С.И. Гидротермальная переработка фосфоритов на удобрения и кормовые средства. [Текст] / С.И. Вольфович. – М.; Л.: Химия, 1964. – 172 с.
6. Коротич, В.И. Исследование температурных характеристик процесса плавления фосфоритов [Текст] / В.И. Коротич // Комплексное использование минерального сырья. – 1979. – №3. – С. 12-18.
7. Белорецкий, Я.Л. Оптимальный уровень подсосов на агломерационных машинах [Текст] / Я.Л. Белорецкий, Г.М. Майзель, Ю.А. Фролов [и др.].

Материал 29.11.13 түсті

E.I. Rustem¹, G.Sh. Telbaeva², D.A. Kulbaeva³

^{1,3}Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan

²School No.2 named after K.Ye. Voroshilov, Kulan, Zhambyl region

PURIFICATION OF DEPARTING AGGLOMERATIVE GASES FROM COMPOUNDS OF PHOSPHORUS, FLUORINE AND SULFUR

Conditions of transition for compounds of phosphorus, fluorine and sulphur in gas phase are studied. Phosphorite agglomeration conditions in point of corrosion strength of gas section and environment view are determined. Purification process of agglomerate gases from compounds of phosphorus, fluorine and sulfur is developed. Influence research cottrell milk on structure the agglomeration of gases earlier it was not carried out. For elimination of it gap we carried out additional tests by definition of transition of phosphorus, fluorine and sulfurs in a gas phase at agglomeration of phosphorites taking into account real structure of cottrell milk.

Keywords: compounds of phosphorus, leaving agglomerate gases, fluorine, sulphur, corrosion strength, cottrell milk.

УДК 025.677

Х.А. Хазраткулов¹, М.М. Мукимов²

¹Соискатель, ²Д-р техн. наук, проф.

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Ташкент, Узбекистан

ОДНОСТОРОННИЙ ПЛАТИРОВАННЫЙ ПЛЮШЕВЫЙ ТРИКОТАЖ С ПРОЧНЫМ ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ПЛЮШЕВОЙ НИТИ В ГРУНТЕ ТРИКОТАЖА

С целью повышения качества платированного плюшевого трикотажа предложена новая структура и способ получения плюшевого трикотажа. Качественные показатели трикотажа улучшаются за счет равномерного расположения плюшевых протяжек на поверхности полотна и повышения степени закрепления плюшевой нити в структуре трикотажа. За счет уменьшения количества плюшевых протяжек на поверхности трикотажа вдвое, снижается расход сырья при его выработке. Это приводит к снижению себестоимости трикотажа. Предлагаемый трикотаж можно получать как на кругловязальных машинах, так и на плосковязальных. В

формировании одного раппорта участвуют три петлеобразующие системы, при этом образуется два петельных ряда.

Ключевые слова: платированный плюшевый трикотаж, плюшевая протяжка, грунтовая нить, плюшевая нить, закрепление плюшевой нити в грунте, кругловязальные машины, плосковязальные машины.

При выработке изделий из платированного плюшевого трикотажа устраняются те недостатки, которые имеются при изготовлении изделий из трикотажа футерованного переплетения. Платированный плюшевый трикотаж не требует ворсования, поэтому его можно использовать при выработке штучных изделий, тогда как процесс ворсования для штучных изделий из трикотажа футерованного переплетения затруднителен. В связи с этим область применения плюшевого трикотажа очень широка. Из него можно изготавливать теплые бельевые и верхние изделия, пальто и шубы (искусственный мех), ковровые, декоративные изделия и изделия технического назначения.

Так, плюшевый трикотаж, используемый для бельевых изделий, должен обладать высокими теплозащитными и гигроскопическими свойствами. Трикотаж, применяемый для теплой верхней одежды, обычно вырабатывается с удлиненным ворсом (искусственный мех) и должен кроме высоких теплозащитных свойств иметь прочное закрепление плюшевых петель в структуре грунта и расположение ворса, близкое к нормали.

Плюшевый трикотаж, используемый в технических целях, в зависимости от конкретного назначения должен обладать определенной плотностью ворса, высокими теплозащитными свойствами или прочным закреплением плюшевой нити в структуре грунта.

Платированный плюшевый трикотаж по сочетанию элементов базового переплетения можно получать на базе главных, производных, рисунчатых и комбинированных переплетений. Помимо этого плюшевый трикотаж может быть кулирным и основовязаным. По способу расположения плюшевых протяжек на полотне платированный плюшевый трикотаж может быть с односторонним (лицевым или изнаночным) и двусторонним ворсом, по виду плюшевых протяжек – петельный, разрезной и меховой. Кроме того, трикотаж плюшевых переплетений может быть гладким и рисунчатым.

Односторонний платированный плюшевый трикотаж можно вырабатывать на базе главных переплетений введением плюшевой нити в структуру глади, ластика и изнаночной глади [1].

В промышленности большое распространение получил плюшевый трикотаж, вырабатываемый на базе глади. В этом трикотаже плюшевые протяжки могут быть образованы как на изнаночной стороне, так и на лицевой, но чаще вырабатывается трикотаж с расположением плюшевых протяжек на изнаночной стороне. На рисунке 1 показано строение кулирного гладкого платированного плюшевого трикотажа, получаемого на базе глади, с расположением плюшевых протяжек на изнаночной стороне. Каждый ряд трикотажа состоит из петель грунта *1*, образованных из грунтовой нити *а*, и плюшевых петель *2*, образованных из плюшевой нити *б*. Остовы плюшевых петель могут находиться с изнаночной или с лицевой стороны полотна в зависимости от типа машин, на которых вырабатывается трикотаж.

В представленном образце петли грунта расположены с изнаночной стороны и имеют нормальную длину платинных дуг, а остовы плюшевых

петель располагаются с лицевой стороны и имеют удлиненные платинные дуги, образующие ворс на изнаночной стороне.

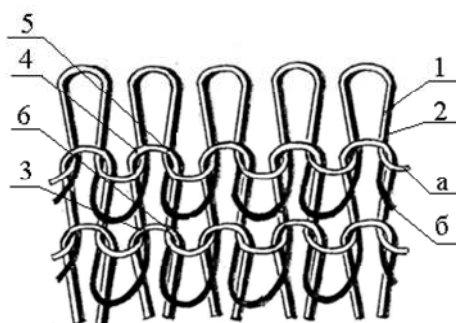


Рис. 1. Односторонний платированный плюшевый трикотаж на базе переплетения гладь

Плюшевая нить провязана вместе с грунтовой в остов петли и при вытягивании плюшевой петли из структуры трикотажа в случае разрыва она испытывает трение о петлю грунта в остане по всей линии соприкосновения. Кроме того, плюшевая петля будет находиться в точках 3 и б в контакте с петлями, которые образуют предыдущий ряд, а в точках 4 и 5 – с петлями, образующими последующий ряд трикотажа.

Плюшевый трикотаж без рисунчатых эффектов имеет гладкую лицевую и изнаночную сторону, так как остоны всех петель образованы из двух нитей – а и б. Такой трикотаж обладает высокими теплозащитными свойствами и широко применяется для изготовления бельевых, верхних и чулочно-носочных изделий.

Недостатком этого платированного плюшевого трикотажа является то, что в связи с образованием плюшевых протяжек в каждом петельном ряду расход сырья увеличивается, полученный трикотаж более материалоемкий.

В работе [2] для уменьшения расхода сырья и улучшения условия выполнения процесса петлеобразования предлагается способ выработки платированного плюшевого трикотажа, где в трикотаже чередуются плюшевый ряд с гладким. На рисунке 2 приводится структура и графическая запись выработки плюшевого трикотажа.

Предлагаемый трикотаж на двухфунтурной кругловязальной машине получают следующим образом.

В системе I на иглы риппшайбы и иглы цилиндра прокладывают плюшевую нить 1 и только на иглы риппшайбы – грунтовую нить 2, для чего подъемные клинья в замках цилиндра и риппшайбы включены (см. рис. 2). На иглах цилиндра формируются плюшевые протяжки 3. В системе II машины, на иглы риппшайбы прокладывается грунтовая нить 4 из которой формируются петли для чего подъемный клин в риппшайбе включен, а подъемный клин в цилиндре выключен.

Это позволяет иглам цилиндра, скульировавшим плюшевую нить 1 в протяжки 3 пройти через систему II без участия в процессе петлеобразования. В системе III на иглы не прокладывают никаких нитей и задача системы III состоит в обеспечении сброса плюшевых протяжек 3 с игл цилиндра. Для этого подъемный клин в риппшайбе выключен, а подъемный клин в цилиндре включен. Иглы цилиндра поднимаются на заключение, плюшевые протяжки 3 переходят из под крючков на стержни игл за язычки, а при

движении игл цилиндра в направлении кулирования в системе III происходит сброс плюшевых протяжек 3 с головок игл. После системы III цикл повторяется, для чего перед системой I устанавливают открыватели язычков любой известной конструкции, как правило, в виде заостренных пластин или прутков. В процессе вязания происходит постоянное чередование петель, состоящих из плюшевой 1 и грунтовой 2 нитей с петлями только из грунтовой нити 4. Это обеспечило надежность процесса петлеобразования, т.к. в процессе вязания петли, состоящие из двух или более нитей, протягиваются через петли, образованные из одной нити и наоборот, что практически исключило разрыв петель. Это обусловлено тем, что, чем меньше сила трения, возникающая при протягивании новых петель сквозь старые, тем меньше вероятность обрыва нитей в петлях.

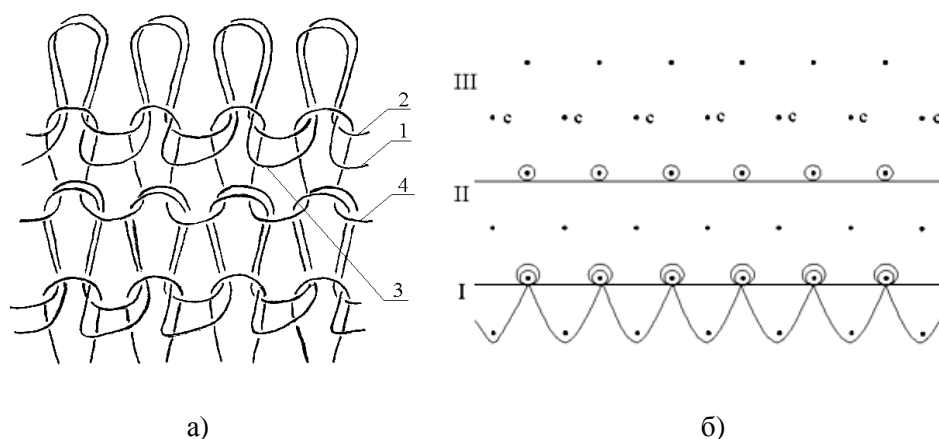


Рис. 2. Структура и графическая запись выработки платированного плюшевого трикотажа с чередованием плюшевого ряда с гладким

Созданный способ обеспечивает в процессе петлеобразования постоянное сохранение этого условия, т.к. в каждой второй системе машины вязывается только одна грунтовая нить, как бы разрезающая трикотаж.

При прокладывании грунтовой нити 2 в первой системе за спинками игл цилиндра плюшевая нить 1 выходит наружу с обеих сторон трикотажа. С изнаночной стороны плюшевая нить 1 образует плюшевые протяжки 3, а с лицевой стороны плюшевая нить 1 образует петли, покрывающие петли из грунтовой нити 2.

Недостатком указанного трикотажа является то, что гладкие петельные ряды, в которых отсутствуют плюшевые протяжки, формируют поперечные полосы на поверхности одностороннего плюшевого трикотажа, которые ухудшают его внешний вид и качество, а также плюшевая нить непрочна закреплена в грунте трикотажа.

С целью улучшения качества одностороннего платированного плюшевого трикотажа за счет равномерного расположения плюшевых протяжек на изнаночной стороне полотна и прочного закрепления плюшевой нити в грунте трикотажа предлагается структура и способ получения плюшевого трикотажа, где плюшевая нить провязывается совместно с грунтовой в остовах двух петель и плюшевые протяжки расположены на поверхности полотна в шахматном порядке. На рисунке 3 представлена структура и графическая запись предлагаемого плюшевого трикотажа.

Односторонний плюшевый трикотаж (рис. 3, а) содержит петли грунта 3, образованные нитью 1, и плюшевые петли 4, образованные плюшевой нитью 2 и плюшевые протяжки 5 и 6, расположенные в шахматном порядке.

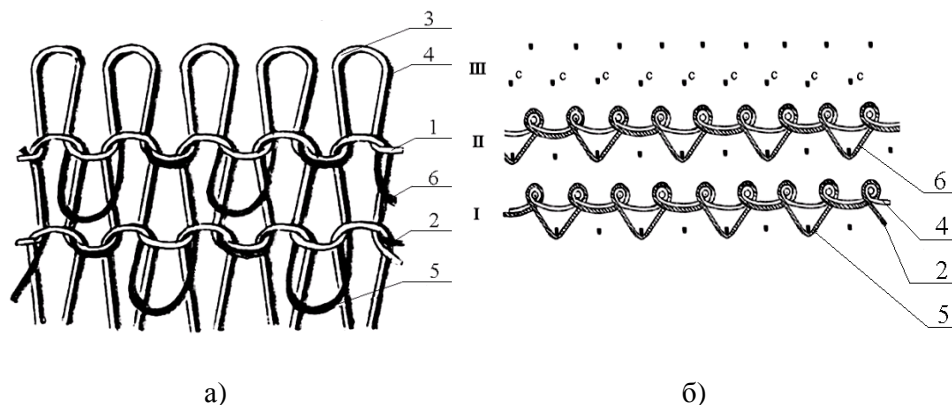


Рис. 3. Структура и графическая запись платированного плюшевого трикотажа с шахматным расположением плюшевых протяжек

При выработке одностороннего плюшевого трикотажа главным является образование ворса из удлиненных плюшевых протяжек. Принцип получения плюша заключается в прокладывании плюшевой и грунтовой нитей на иглы с последующим кулированием грунтовой нити относительно основной отбойной плоскости, а плюшевой – относительно дополнительной.

В предложенном одностороннем плюшевом трикотаже плюшевая нить 2 образует остовы петель на всех иглах подряд, а плюшевые протяжки – через иглу (рис. 3, а, б). В тех местах, где плюшевая нить не образует плюшевую протяжку, она вяжется в структуру грунта, как обычная грунтовая. Таким образом, плюшевая петля оказывается провязанной вместе с грунтовой в остовах двух петель.

Односторонний плюшевый трикотаж можно вырабатывать на плоско- и кругловязальной машине с ластичной расстановкой игл.

Процесс вязания одностороннего плюшевого трикотажа осуществляется следующим образом (рис. 3, б). При получении раппорта переплетения участвуют три петлеобразующие системы. В I ряду раппорта иглы задней игольницы провязывают петли из грунтовой 1 и плюшевой 2 нитей, а нечетные иглы передней игольницы образуют плюшевые протяжки 5. Во II ряду раппорта иглы задней игольницы провязывают плюшевые петли, а четные иглы передней игольницы образуют плюшевые протяжки 6. В III ряду раппорта происходит сброс плюшевых протяжек со всех игл цилиндра.

В полученном одностороннем плюшевом трикотаже плюшевая нить имеет более прочное закрепление в грунте, так как плюшевая петля оказывается провязанной в остовах двух петель.

За счет образования плюшевых протяжек через иглу уменьшается расход сырья, а расположение плюшевых протяжек на изнаночной стороне полотна в шахматном порядке повышает равномерность плюшевой поверхности и улучшает качество трикотажа.

Благодаря предлагаемой структуре одностороннего плюшевого трикотажа появляется возможность расширить область применения и ассортимент трикотажных изделий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявин, Л.А. Основы технологии трикотажного производства [Текст] / Л.А. Кудрявин, И.И. Шалов. – М.: Легпромбытиздат, 1990.
2. А. с. 659663 СССР, МКл. D 04 B1/02. Способ получения плюшевого трикотажа на многосистемной двухфонтурной вязальной машине [Текст] / В.Ю. Джермакян, К.Ю. Джермакян, А.Д. Цитульский. – № 7111006/28-12; заявл. 29.10.71; опубл. 30.04.79, Бюл. №16.

Материал поступил 26.12.13.

Kh. A. Khazratkulov, M.M. Mukimov

Tashkent institute of textile and light industry, Tashkent, Uzbekistan

ONE-SIDED PLATED PLUSH JERSEY WITH STRONG FASTENING OF A PLUSH THREAD IN JERSEY STRUCTURE

For the purpose of improvement of plated plush jersey quality the new structure and producing way of plush jersey is offered. Jersey quality indicators improve at the expense of a uniform arrangement plush sinker loops on a surface of a cloth and increase of degree of fastening of a plush thread in jersey structure. At the expense of reduction of quantity plush sinker loops on a jersey surface twice, the raw materials expense decreases at its producing. It leads to decrease in the cost price of jersey. The offered jersey can be received as on circle knitting machines, as on flat knitting machines. Three knitting systems participate in formation of one knitting repeat, is thus formed two loopy numbers.

Keywords: plated plush jersey, plush sinker loop, a soil thread, a plush thread, fastening of a plush thread in a ground structure, circle knitting machines, flat knitting machines.

UDK 661.24+661.63

Kh.R. Sadieva¹, G.K. Bishimbayeva²

¹C.t.s, the senior lecturer

Taraz State University named after M.Kh. Dulati, Taraz, Kazakhstan

²D.t.s., Professor,

Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

THE INVESTIGATION OF THE EXTRACTION OF NOBLE METALS FROM SULFIDE ORES BY THE SULFITE – BISULFITE – TIOSULFATE SOLUTIONS

The paper presents the results of the study sample concentrate produced from ore Akbakai ore dressing plant. The study showed that gold and silver are in them in the native state as micron-sized gold particles mass from thousandths to tenths of milligrams concluded in sulphide minerals such as pyrite, arsenopyrite and chalcopyrite. Chemical oxidation of refractory sulfide ores such as pyrite, sphalerite, thiosulfate ions, sulfite and polythionates leads to the dissolution of gold due to the formation of stable enough sulfite

and thiosulfate complexes in solution. The possibility of efficient use of product materials processing technogenic sulfur containing feedstock – sulfite, bisulfite, thiosulfate and sulfite and ammonium bisulfite solution, sodium as reagents leaching of gold from refractory ores deposits Akbakai toxic cyanide exchange with the degree of extraction of Au to 94-98 %.

Keywords: noble metals, sulfide ores, Akbakai ore dressing plant, leaching, thrust ores, solutions, ammonium, sodium, reagents, cyanides, minerals.

Republic of Kazakhstan have a lot of stores of noble metals and although a huge economical potential for dynamic development of national economy in XXI century.

In the middle of variety of noble metals the main place takes gold, silver, platinum – they take an active role in economy of our country. In our world one of the most important problems is the ecology of our world and people which live there, but we must to put it to the first place by a lot of projects and ideas. In our days students try to improve our technology and to improve the ways how to make the world harmless and safe. We tried to solve this problem in gold industry. In our days there are a lot of solvents and ways for extracting gold, but after a lot of investigations we decided that most of them are harmful and the main way is extraction of gold by cyanide solutions.

The cyanide solutions are harmful for us and for ecology. Disadvantages of cyanide solutions are:

- 1) Containing of gold more than 0.9 g;
- 2) Cyanide solutions are not so strong;
- 3) Tying of cyanide and oxygen with active pyrromones;
- 4) The concentration of sodium cyanide is 0.06-0, 0.8%;
- 5) High toxic properties.

The cyanide process is very popular in metallurgy. It has so many disadvantages and one of them is that it is very toxic. So, our aim is that we must to find useful, safe, cheap reagent for extracting gold. After a lot of investigations we decided to discover other reagent that is safe and cheap. In Atyrau region the ecology is not controlled. The first problem they have is petrol; the second is the waste material of Tengiz deposit. This problem prevents to live easier. From this material scientist can make bombs, but we must to prevent them from making bombs. We found decision for two problems. The decision is to make safe, cheap, useful reagent, in place of cyanide solutions, from Tengiz sulphur, waste product from the oil-gas raw material of the Tengiz deposit. We suggest you to make the sulphite-bisulphite-tiosulphate solutions. These solutions were used in XX century. We calculated the constant of the reaction and they have showed that the reactions are possible. Sulphite dissolving of noble metals in normal temperature allows us to minimize consumptions of very expensive reagents (solvent -6-7 times, oxid – 5 times). One of the methods of obtaining sodium tiosulphate is the reaction of sodium sulphite with sulphur.

We have conducted research into reaction of sodium sulphite with sulphur containing product – the waste product from the oil-gas raw material of the Tengiz deposit (tengiz sulphur) and elementary sulphur. If we did all of this processes with elementary sulphur there will be formed polytionates (sodium tetratonate $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$ and sodium pentatonate $\text{Na}_2\text{S}_5\text{O}_6$) [1, 2]. This polytionates are not stable, so they decompose and form elementary sulphur, which make worse product.

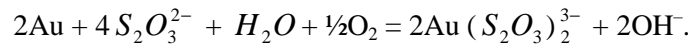
Also we investigated oxidizing of gold containing concentration. After oxidizing the result will be more useful for us. If we will compare two types of

methods of extracting of gold: by cyanide solutions we can get 71% of gold, but by sulphite-bisulphite-tiosulphate solutions we can get 94-98%.

By these indicators we can say that sulphite-bisulphite-tiosulphate solutions are cheaper and competitive that cyanide and competitive.

Thermodynamics of process. There you can see thermodynamic calculations, which prove that the metallic gold can easily dissolve in tiosulphate reagents and in 21-23 literature behavior of gold in tiosulphate environment was given. The gold with tiosulphate ions produce stable complex, which will not give sulphur when we will add acid, from it can be taken $H_3Au(S_2O_3)_2 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ acid [3, 4].

It is given that the reaction of gold with tiosulphate solutions is:

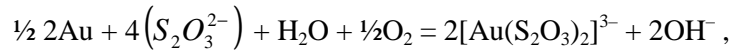
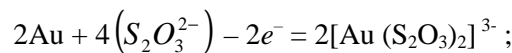


Energy of Gibbs (isobaric-isothermal potential) of this reaction $\Delta G^0 = -58.35$ kJ/mol. From this the equation of the reaction is:

$$Lg K_p = 58353.73 / (2.3 \cdot 298 \cdot 8.31) = 10.23;$$

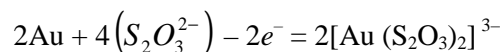
$$K_p = 1.7 \cdot 10^{10}.$$

This reaction can be shown by Zhuchkovs calculations:



$$\Delta G^0 = -58353.7 \text{ kJ/mol}.$$

So for this reaction:

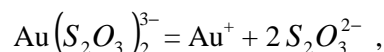
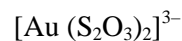


The energy of Gibbs is:

$$\Delta G^0 = -58353.7 - (-77459 - 8256.7) = +27362 \text{ kJ/mol}.$$

By the equation $\Delta G^0 = nF\varepsilon$ we calculate the normal potential in tiosulphate:

$$\varepsilon_0 = \Delta G^0 / nF = 27362 / (2 \cdot 96485) = +0.142 \text{ B}.$$



$$K_n = \alpha_{Au^+} \cdot \alpha_{Au(S_2O_3)_2^{3-}} / \alpha_{[Au(S_2O_3)_2]^{3-}}$$

$$\alpha_{Au^+} = K_H \cdot \alpha_{Au(S_2O_3)_2^{3-}} / \alpha_{S_2O_3^{2-}}^2 \quad \lg \alpha_{Au^+} = \lg K_H + \lg \alpha_{Au(S_2O_3)_2^{3-}} / \alpha_{S_2O_3^{2-}}^2$$

$$\varepsilon_{Au} = 1.68 + 0.059 \lg \alpha_{Au^+} = 1.68 + 0.059 \lg K_H + 0.059 \lg \alpha_{[Au(S_2O_3)_2]^{3-}} / \alpha_{S_2O_3^{2-}}^2$$

$\alpha_{Au(S_2O_3)_2^{3-}} / \alpha_{S_2O_3^{2-}}^2 = 1$ In tiosulphate solution the potential is getting $\varepsilon_0 = +0.142 B$.

$$1.68 + 0.059 \lg K_H = 0.142 \quad \text{и} \quad \lg K_H = -1.538/0.059 = -26.06.$$

$$K_H = 10^{-26}.$$

All calculations was made at STP, we must to calculate in real situations because the results are not equal. Let's calculate in unacceptable conditions: the concentration of gold is 10^{-3} mol/l (or 200mg/l); concentration of oxygen – 10^{-4} mol/l (or 3.2 mg/l); concentration of hydroxyl ions – 10^{-2} mol/l (or 170 mg/l); concentration tiosulphate – 0.5mol/l. In these conditions the potential of the gold is:

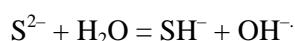
$$\varepsilon = 0.142 + 0.059 \lg (10^{-3}/0.5 \cdot 0.5) = 0.142 + 0.059 (-3) - 0.059 \lg 0.25 = -0.058 B.$$

Then:

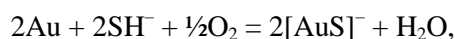
$$\Delta G^{298} = \Delta G^0 + 2.3RT \log [Au(S_2O_3)_2^{3-}]^2 [OH^-]^2 / [S_2O_3^{2-}]^4 \cdot pO_2^{1/2}$$

$$\Delta G^{298} = -81102.2 \text{ kJ/mol}, K_p = 1.3 \cdot 10^{14}.$$

When we will heat sodium tiosulphate the one of its products can be S^{2-} , which by hydrolysis is getting SH^- :



The product of hydrolysis is hydrosulphide which can be the extra solvent. Results of our calculations show us that the oxidation of gold by oxygen is real:



$$\Delta G^0 = -173.3 \text{ kJ/mol}.$$

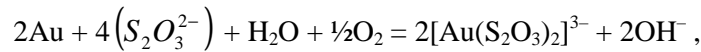
Mechanism of the reaction will be different: oxygen can be depolarizer or oxidize sulphide hydrosulphide ions, to do polysulphide products, which although can react with gold by the help of oxygen:



$$K_p = [AuS]^- / [S_2^{2-}] = 10^{-2} \text{ kJ/mol}.$$

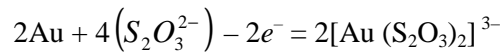
In this reaction if the concentration of the solution will be low the condition will be more suitable.

$$O_{2 \text{ газ}} = \frac{1}{2}O_{2 \text{ p-p}}, \Delta G^0 = -8256.7 \text{ kJ/mol};$$



$$\Delta G^0 = -58353.7 \text{ kJ/mol}.$$

So for this reaction:

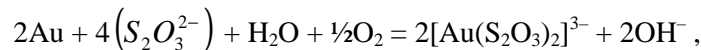
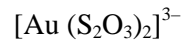


The energy of Gibbs is:

$$\Delta G^0 = -58353.7 - (-77459 - 8256.7) = +27362 \text{ kJ/mol}.$$

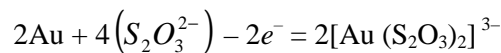
By the equation $\Delta G^0 = nF\varepsilon$ we calculate the normal potential in tiosulphate:

$$\varepsilon_0 = \Delta G^0/nF = 27362 / (2 \cdot 96485) = +0.142 \text{ B}.$$



$$\Delta G^0 = -58353.7 \text{ kJ/mol}.$$

So for this reaction:

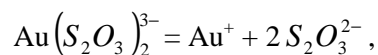
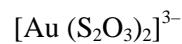


The energy of Gibbs is:

$$\Delta G^0 = -58353.7 - (-77459 - 8256.7) = +27362 \text{ kJ/mol}.$$

By the equation $\Delta G^0 = nF\varepsilon$ we calculate the normal potential in tiosulphate:

$$\varepsilon_0 = \Delta G^0/nF = 27362 / (2 \cdot 96485) = +0.142 \text{ B}.$$



$$K_H = \alpha_{\text{Au}^+} \cdot \alpha_{\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}} / \alpha_{[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}}$$

$$\alpha_{\text{Au}^+} = K_H \cdot \alpha_{\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}} / \alpha_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}^2 \quad \lg \alpha_{\text{Au}^+} = \lg K_H + \lg \alpha_{\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}} / \alpha_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}^2$$

$$\varepsilon_{\text{Au}} = 1.68 + 0.059 \lg \alpha_{\text{Au}^+} = 1.68 + 0.059 \lg K_{\text{H}} + 0.059 \lg \alpha_{[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}} / \alpha^2_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}} .$$

$\alpha_{[\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}} / \alpha^2_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}} = 1$ In tiosulphate solution the potential is getting $\varepsilon_0 = +0.142 \text{ B}$.

$$1.68 + 0.059 \lg K_{\text{H}} = 0.142 \text{ и } \lg K_{\text{H}} = -1.538/0.059 = -26.06.$$

$$K_{\text{H}} = 10^{-26}.$$

All calculations was made at STP, we must to calculate in real situations because the results are not equal. Lets calculate in unacceptable conditions: the concentration of gold is 10^{-3} mol/l (or 200mg/l); concentration of oxygen – 10^{-4} mol/l (or 3.2 mg/l); concentration of hydroxyl ions – 10^{-2} mol/l (or 170 mg/l); concentration tiosulphate – 0,5mol/l. In these conditions the potential of the gold is:

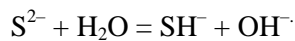
$$\varepsilon = 0.142 + 0.059 \lg (10^{-3}/0.5 \cdot 0.5) = 0.142 + 0.059 (-3) - 0.059 \lg 0.25 = -0.058 \text{ B}.$$

Then:

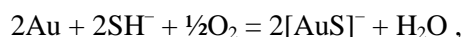
$$\Delta G^{298} = \Delta G^0 + 2.3RT \log [\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}]^2 [\text{OH}^-]^2 / [\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]^4 \cdot p\text{O}_2^{1/2}$$

$$\Delta G^{298} = -81102.2 \text{ kJ/mol}, K_{\text{p}} = 1.3 \cdot 10^{14}.$$

When we will heat sodium tiosulphate the one of its products can be S^{2-} , which by hydrolysis is getting SH^- :



The product of hydrolysis is hydrosulphide which can be the extra solvent. Results of our calculations show us that the oxidation of gold by oxygen is real:



$$\Delta G^0 = -173.3 \text{ kJ/mol}.$$

Mechanism of the reaction will be different: oxygen can be depolarizer or oxidize sulphide hydrosulphide ions, to do polysulphide products, which although can react with gold by the help of oxygen:

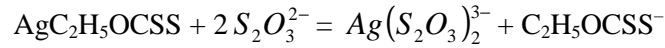


$$K_{\text{p}} = [\text{AuS}]^- / [\text{S}_2^{2-}] = 10^{-2} \text{ kJ/mol}.$$

In this reaction if the concentration of the solution will be low the condition will be more suitable.

The silver with tiosulphate ions form very stable complex. It is well known that in XX century people used this solution to take gold from the ore.

It is the reaction of silver ethylsantogenete with tiosulphate.



$$K_p = 3.7 \cdot 10^{-4}$$

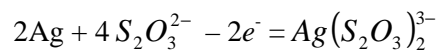
$$\varepsilon = \varepsilon_0 + 0.059 \lg \alpha_{\text{Au}^+} \cdot [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} = \text{Ag}^+ + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-};$$

$$K_{\text{н}} = \alpha_{\text{Au}^+} \cdot \alpha_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}^2 / \alpha_{\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}}$$

$$\alpha_{\text{Au}^+} = \frac{\alpha_{\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}}}{\alpha_{\text{S}_2\text{O}_3^{2-}}^2} \cdot 10^{-20}$$

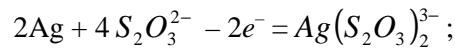
In normal conditions the potential of the gold in tiosulphate:

$$\varepsilon_0 = +0.8 - 0.059 \times 20 = -0.38 \text{ B.}$$

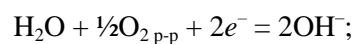


$$\Delta G^0 = nF\varepsilon_0 = -2 \times 96485 \times 0.38 = -73328.6 \text{ J/mol.}$$

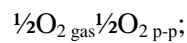
In these conditions the probability of the reaction is more than gold:



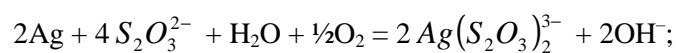
$$\Delta G^0 = -73328.6 \text{ J/mol.}$$



$$\Delta G^0 = -77459 \text{ J/mol;}$$



$$\Delta G^0 = -8256.7 \text{ J/mol;}$$



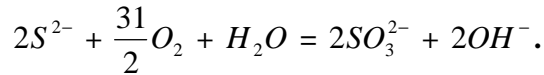
$$\Delta G^0 = -159040.8 \text{ J/mol.}$$

$$\lg K_p = -\frac{\Delta G^0}{2.3 \cdot RT} = +\frac{159040.8}{2.3 \times 8.314 \times 298} = 28.4;$$

$$K_p = 2.5 \cdot 10^{-28}.$$

The dissolving of silver in tiosulphate is more probable, because silver with cyanide form very stable complex.

Products of decomposition of tiosulphate-ion although can be solvent of noble metals, as solvents of silver. When sulphur oxidizes the product is sulphite-ion:



$2SO_3^{2-}$ In special conditions can be although solvent of silver. In solutions with high concentration the product will be- $[Ag(SO_3)_3]^{5-}$

$$K_d = \frac{[Ag^+][SO_3^{2-}]^3}{[Ag(SO_3)_3]^{5-}} = 2.06 \cdot 10^{-9}.$$

In solutions with low concentration one of products will be $[Ag(SO_3)]^-$, constant $1.6 \cdot 10^7$. So in tiosulphate solutions the solvent will be not only $(S_2O_3^{2-})$ and products of decomposition (HS^-) , (S_n^{2-}) , (SO_3^{2-}) .

Tiosulphate dissolving of noble metals in normal temperature allow us to minimize consumptions of very expensive reagents (solvent -6-7 times, oxid-5 times). By these indicators we can say that tiosulphate solution is cheaper that cyanide and competitive.

The extraction of gold in acidic area shows that it is not effective for us. (pH 2).

We had done some experiments with Akbakai concentration and they shows that the gravitational concentration contains Au – 92.3 g; Ag – 68.8 g; flotation Au – 71.6 g; Ag – 36.0 g.

We decided to investigate other types of sulphite solutions like:

- sulphite- bisulphite ammonia, sodium
- sulphite-bisulphite-tiosulphate ammonia, sodium

The time of extraction is 6-8 hours at 40-60 °C, but we mustn't increase the temperature after 60 °C because the gold becomes passive at high temperature [5].

The extraction of gold in gravitational concentration – 85.0 g/t, in flotation concentration – 66.0 g/t, the extraction in gravitation concentration -60.0 g/t, flotation– 33.0 g/t.

Table 1

The results of extraction of gold from sulphide ores
 by sulphite-tiosulphate solutions

No. test	Leaching mixtures	Primary concentrate	Temperature, C°	Time of leaching, hour	Contents of Au in cake, g/t	Extraction of Au into solution, %
1	CBA	Flotational	40	8	40.02	68.9
2	CBA	Gravitational	40	8	16.25	80.9
3	TCBA	Flotational	40	8	23.2	64.3
4	TCBA	Gravitational	40	6	13.7	83.9
5	TCBA	Flotational	60	6	16.2	75
6	TCBA	Gravitational	60	6	26.9	68.4
7	CBS	Flotational	60	6	22.5	65.4
8	CBS	Gravitational	60	6	22.5	73.5
9	TCBS	Flotational	60	6	26.2	59.7
10	TCBS	Gravitational	60	6	19.23	77.4

Table 2

The results of extraction of silver from sulphide ores
by sulphite-tiosulphate solutions

No. test	Leaching mixtures	Primary concentrate	Temperature, C°	Time of leaching, hour	Contents of Au in cake, g/t	Extraction of Au into solution, %
1	CBA	Flotational	40	8	34.02	68.9
2	CBA	Gravitational	40	8	18.25	71.9
3	TCBA	Flotational	40	8	31.2	56.3
4	TCBA	Gravitational	40	6	25.7	69.9
5	TCBA	Flotational	60	6	16.2	75
6	TCBA	Gravitational	60	6	19.9	70.4
7	CBS	Flotational	60	6	21.5	68.4
8	CBS	Gravitational	60	6	13.5	88.5
9	TCBS	Flotational	60	6	16.2	75.7
10	TCBS	Gravitational	60	6	11.23	88

As it seen in tables, in result of preliminary processing of sulphide concentrates from Akbakai deposit with different structured acidic and basic solutions the amount of gold extracted by tiosulphate-sulphite-bisulphite solutions greatly increased. Especially the revelation with the permanganate solution in basic medium was the most effective one: Especially effective there was an opening by a solution of potassium permanganate in the alkaline environment: extraction of gold from flotation a concentrate has raised from 70.6 % up to 98.9 %, from gravitational – from 81.2 % up to 98.3 %, extraction of silver from a flotation concentrate has raised from 70.6 % up to 98.9 %. From gravitational – from 93.8 % up to 97.3 %. It is necessary to note good opening concentrates solutions hydroxide the calcium more accessible and cheap.

Researches have shown efficiency and expediency of using sulphite-tiosulphate and sulphite-bisulphite solutions of ammonium and sodium in technology of extraction of gold and silver from persistent sulphidic ores.

Oxidizing opening of gold containing sulphide ores. Opening gold containing ores and products of their enrichment by means of usual mechanical crushing and the subsequent cyanide appears ineffective for persistent ores with thin gold. Productivity of its extraction to a great extent depends on a choice and efficiency of carrying out of preparatory operations. Existing methods of opening of persistent concentrates are directed on destruction gold containing minerals

For making easy crushed concentrates before opening in a solution the irradiation by their stream accelerated electrons [5] which action causes formation of micro cracks or radiating defects of a crystal lattice of minerals can be used and stimulates oxidizing processes on a surface of sulfides.

At an irradiation of minerals in the form of water suspensions energy of a stream is an absorbed electron not only a firm phase, but also water. Formed products radiolysis in a combination to ozone promotes oxidation of sulphidic sulfur and metals of variable valency. Bivalent iron in pyrite is oxidized in trivalent and passes in a solution, and trivalent arsenic in arsenopyrite is oxidized up to a five-valent condition, forming in the alkaline environment corresponding water-soluble sulfates and arsenates [6].

Formed products radiolysis in a combination to ozone promotes oxidation of sulphidic sulfur and metals of variable valency. The majority of sulfides of heavy nonferrous metals are practically insoluble in water, but they can be dissolved in weak inorganic acids, it is much more active - at presence of an oxidizer [5, 6].

Formed products radiolysis in a combination to ozone promotes With the purpose of increase of extraction of gold and silver from a sulphidic concentrate process of oxidizing opening of sulfides, arsenopyrites from Akbakai deposits has been investigated.

Destruction of sulphidic minerals including copper, usually assumes their oxidation which is carried out by means of various oxidizers and solvents under various conditions. According to substantive provisions of the theory of oxidation of sulfides, in sour environments various forms of sulfur can be formed.

According to the theory of consecutive dissolution of minerals, sulfides on reduction of reactionary ability on the basis of comparison nuclear energy of Gibbs in the sour environment settles down in a number [7].

The received number shows, that in the sour environment at presence of complex forming reagents (at transition molybdenum) most solutions sulphidic minerals with the basic properties. Consecutive dissolution of sulfides in the sour environment (H_2SO_4 , HCl) with application complex forming agents (sulphite-tiosulphates solutions) is most expressed for minerals with the basic properties and is insignificant for sulphides.

In order to reveal the sulphide gravitational and flotational concentrations of Akbakai deposit there was held their preliminary processing in acidic and basic mediums at room temperature and at constant mixing during 1-2 hours. The results of leaching the gold (Au) and silver (Ag) from concentrates of Akbakai with 0.1N TSBA solution at temperature 50 °C during 4 hours with preliminary revelation by different oxidations are shown in tables.

Table 3

The influence of preliminary revelation of concentrates from Akbakai deposit on extraction of gold by 0,1N tiosulphate-sulphite-bisulphite solution

No. test	Primary concentrate	Oxidations	pH solution		Contents of Au in cake, g/t	Extraction of Au into solution, %
			before leaching	after leaching		
1	Gravitational	$H_2O_2+FeCl_3$	9.25	9	4.3	95.8
2	Gravitational	H_2SO_4+HCl	9.25	9	6.2	90.6
3	Gravitational	$Ca(OH)_2$	9.25	9.55	3.6	96.5
4	Gravitational	$KMnO_4$ in basic medium	9.25	9.6	2.1	97.3
5	Flotational	$H_2O_2+FeCl_3$	9.25	9	3.9	96
6	Flotational	H_2SO_4+HCl	9.25	8.95	5	93
7	Flotational	$Ca(OH)_2$	9.25	9.5	3.2	96.9
8	Flotational	$KMnO_4$ in basic medium	9.25	9.65	1.8	98.9
9	Gravitational	No oxidation	9.25	9.55	14.2	81.2
10	Flotational	No oxidation	9.25	9.6	19.9	70.6

As it seen in tables, in result of preliminary processing of sulphide concentrates from Akbakai deposit with different structured acidic and basic solutions the amount of gold extracted by tiosulphate-sulphite-bisulphite solutions greatly increased. Especially the revelation with the permanganate solution in basic medium was the most effective one: Especially effective there was an opening by a solution of potassium permanganate in the alkaline environment: extraction of gold from flotation a concentrate has raised from 70.6 % up to 98.9 %, from gravitational - from 81.2 % up to 98.3 %, extraction of silver from a flotation

concentrate has raised from 70.6 % up to 98.9 %, from gravitational - from 93.8 % up to 97.3 %. It is necessary to note good opening concentrates solutions hydroxide the calcium more accessible and cheap.

Table 4

The influence of preliminary revelation of concentrates from Akbakai deposit on extraction of silver by 0,1N tiosulphate-sulphite-bisulphite solution

No. test	Primary concentrate	Oxidations	pH solution		Contents of Au in cake, g/t	Extraction of Au into solution, %
			before leaching	after leaching		
1	Gravitational	H ₂ O ₂ +FeCl ₃	9.25	9.1	5.3	93.8
2	Gravitational	H ₂ SO ₄ +HCl	9.25	9.1	6.2	90.6
3	Gravitational	Ca(OH) ₂	9.25	9.6	2.6	96.9
4	Gravitational	KMnO ₄ in basic medium	9.25	9.6	2.1	97.3
5	Flotational	H ₂ O ₂ +FeCl ₃	9.25	9	3.9	92
6	Flotational	H ₂ SO ₄ +HCl	9.25	8.8	4	91
7	Flotational	Ca(OH) ₂	9.25	9.6	3.2	91.9
8	Flotational	KMnO ₄ in basic medium	9.25	9.65	1.5	98.9
9	Gravitational	No oxidation	9.25	9.55	15.7	71.2
10	Flotational	No oxidation	9.25	9.6	17.5	70.6

Researches have shown efficiency and expediency of using sulphite-tiosulphate and sulphite-bisulphite solutions of ammonium and sodium in technology of extraction of gold and silver from persistent sulphidic ores.

Results:

1) For the first time the molecular and chemical structure of product from Tengiz sulfur have been investigated. It is established that there are some organical admixtures in its structure where aliphatic, cyclic paraffin (C₈-C₂₂) and also carboxylic acids are the main components;

2) The mechanism of getting tiocompounds on the bases on Tengiz sulfur is offered;

3) The process of interaction of sodium sulphite with Tengiz sulfur and simple sulfur has been investigated;

4) It is shown, that the speed of solubility of Tengiz sulfur in comparison with simple sulfur in sodium hydroxide solution is 1-1.5 times faster. The speeding effect of bases is explained by the ability of hydroxide ions to activate the atoms of sulfur, which forms the intermediate compounds – polysulphides, which catalyze the process of formation of sodium tiosulphate;

5) The extraction of sodium tiosulphate from Tengiz sulfur at 60 °C is 2-2.5 times faster than from simple sulfur. The increase in temperature till 75-90 °C significantly increases the extraction of sodium tiosulphate.

REFERENCES

1. Минеральные ресурсы [Текст]: объяснительная записка к атласу карт. – Алматы: Мингео РК, 1996. – 10 с.
2. Каковский, И.А. Поведение золота в полисульфидных растворах при повышенных температурах и давлениях [Текст] / И.А. Каковский, Н.Г. Тюрин // Изв. вузов. Цвет.мет. – 1962. – №2. – С. 104-108.

3. Каковский, И.А. Кинетика процессов растворения [Текст] / И.А. Каковский, Ю.М. Потащенко. – М.: Metallurgy, 1975. – 224 с.
4. Минеев, Г.Г. Растворители золота и серебра в гидрометаллургии [Текст] / Г.Г. Минеев, А.Ф.Панченко. – М.: Metallurgy, 1994. – 64 с.
5. Zipperian D., Raghavan S., Wifson J. 1988. Gold and silver extraction by ammonical thiosulfate leaching. In *Hydrometallurgy*, 1988, Vol. 9, No 3, pp. 9-14.
6. Методы химического анализа минерального сырья [Текст]. – М.: Недра, 1968. – 11 с.
7. Кенжалиев, Б.К. О технологии переработки упорной золотосодержащей руды [Текст] / Б.К. Кенжалиев, Х.К. Абсалямов, И.Д. Райвич, Ю.Г. Сажин, М.Р. Шаугенов // Комплексное использование минерального сырья. – 2001. – №6. – С. 26-31.

Material received 28.12.13.

Х.Р. Садиева¹, Г.К. Бишимбаева²

¹Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз

²Казахский Британский технический университет, г. Алматы

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ СУЛЬФИДНЫХ РУД СУЛЬФИТНО – БИСУЛЬФИТНО – ТИОСУЛЬФАТНЫМ РЕШЕНИЕМ

В работе представлены результаты исследования пробы концентрата, полученного из руды Акбакайского горно-обоготительного комбината. Исследование показало, что золото и серебро находятся в них в самородном состоянии в виде микронного размера золотин массой от тысячных до десятых долей миллиграммов, заключенных в сульфидных минералах, таких как пирит, арсенопирит и халькопирит. Химическое окисление упорных сульфидных руд, таких как пирит, сфалерит, ионами тиосульфата, сульфита и полиитионатов приводит к растворению золота благодаря образованию достаточно устойчивых тиосульфатных и сульфитных комплексов в растворе. Показана возможность эффективного использования продуктов переработки техногенного серосодержащего сырья – сульфит-бисульфитных, а также тиосульфат-сульфит-бисульфитных растворов аммония и натрия, в качестве реагентов выщелачивания золота из упорных руд Акбакайского месторождения взамен токсичных цианидов со степенью извлечения Au до 94-98 %.

Ключевые слова: благородные металлы, сульфидные руды, Акбакайский горно-обоготительный комбинат, выщелачивание, упорные руды, растворы, аммоний, натрий, реагенты, цианиды, минералы.

ЮБИЛЕЙ

ЧЕЛОВЕК СЧАСТЛИВОЙ СУДЬБЫ



12 декабря исполнилось 70 лет кандидату технических наук, профессору, члену редакционной коллегии научного журнала «Механика и технологии» Горбатовской Нине Александровне.

Нина Александровна является одним из немногих работников, которые являются свидетелями становления и развития нашего университета. Она посвятила себя одной кафедре, одному университету. Вот уже на протяжении 47 лет Нина Александровна продолжает заниматься своим любимым делом: учит студентов новому ремеслу, передает молодым коллегам свой опыт и вносит весомый вклад в развитие отечественной науки.

Нина Александровна родилась 1943 году в г. Благовещенск Амурской области. Ее отец Александр Васильевич служил кадровым офицером в рядах Красной Армии. В послевоенные годы он закончил военно-политическую академию Марксизма-Ленинизма в г. Ленинград. Мама – Полина Григорьевна по специальности была мастером масло-сыроварения.

Глава семьи Александр Васильевич по долгу службы часто переезжал в разные военно-стратегические точки Советского Союза. В этих поездках его всегда сопровождала любящая семья. Нередко им приходилось жить прямо в военных гарнизонах. Там Полина Григорьевна вела активную общественно-политическую работу среди солдат и жен военнослужащих.

До 1951 года они жили в г. Благовещенск, где Нина Александровна пошла в первый класс. В последующие несколько лет ее семье приходилось не раз менять место проживания по Союзу. В их числе были такие города как Ленинград, Выборг, остров Саарема, поселок Тяанхара (на границе с Финляндией). После окончания войны и военной жизни семья Нины Александровны выбрали города Шымкент и Ленгер, где они решили окончательно обосноваться. Здесь, в г. Ленгер в 1960 году Нина Александровна окончила школу. После школы поступила в Чимкентский технологический институт. Но, в 1963 году, в связи с расформированием специальностей института, была переведена в Джамбулский технологический институт легкой и пищевой промышленности. В 1967 году закончила этот институт и в числе других отобранных выпускников, была оставлена для работы в институте.

Трудовая деятельность Нины Александровны началась с должности лаборанта. Затем она работала инженером проблемной испытательной лаборатории кафедры «Технология хранения и переработки зерна». Руководил кафедрой доктор технических наук, профессор Воронцов Олег Самойлович.

В 1968 году Нина Александровна поступила в аспирантуру Джамбулского технологического института. Но для выполнения диссертационной работы кафедра направила ее в Московский институт пищевой промышленности. В 1974 году защитив диссертацию, и получив ученую степень кандидата технических наук, Нина Александровна вернулась в Джамбул и начала преподавательскую деятельность на родной кафедре.

В различные годы она занимала должности декана пищевого факультета, заведующего кафедрой «Технология хранения и переработки зерна», старшего научного сотрудника этой же кафедры. За эти годы ею подготовлено более 450 специалистов. На сегодняшний день многие из них являются руководителями крупных предприятий и организаций, сотрудниками Министерства сельского хозяйства, а также работниками научно-исследовательских институтов и высших учебных заведений.

Сегодня Нина Александровна продолжает свою трудовую деятельность в звании профессора кафедры «Технология продовольственных продуктов, перерабатывающих производств и биотехнология» Таразского государственного университета им. М.Х. Дулати. Кроме того, является старшим научным сотрудником научно-исследовательской лаборатории инженерного профиля «Наноинженерные методы исследований им. А.С. Ахметова». Нина Александровна одна из активных участников создания этой современной лаборатории, оснащенной уникальными приборами и оборудованием. Здесь она возглавляет отраслевую лабораторию пищевого направления. Под ее руководством в лаборатории проводятся научные исследования по созданию новых продуктов питания функционального и лечебно-профилактического назначения. Организованы также исследования по созданию здорового детского питания на основе кобыльего молока. Ею разработаны и внедрены в Казахстане ресурсосберегающие технологии по переработке зерновых культур с применением нового высокоэффективного оборудования. Разработаны технологические регламенты по переработке зерна в муку заданного качества и крупы повышенной пищевой ценности. Одной из первых в Казахстане Нина Александровна занимается исследованием наноструктурированных сверхизмельченных зерновых культур для создания на их основе функциональных продуктов питания: хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий.

Под руководством Нины Александровны успешно защищены 2 кандидатские и 10 магистерских диссертационных работ. Ею выполнены научные проекты по 2-м грантовым темам Министерства образования и науки и Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан.

Результаты ее научных трудов опубликованы в России, Белоруссии, Монголии. Она является автором более 140 публикаций, 2 учебных пособий и 14 инновационных патентов Республики Казахстан.

Ниной Александровной разработаны и внедрены в учебный процесс университета курсы «Нанотехнологии и наноматериалы в перерабатывающей и пищевой промышленности» и «Концепция формирования инновационной деятельности при производстве функциональных продуктов питания». Для повышения квалификации молодых преподавателей университета ею разработаны и читаются авторские курсы по основам наноинженерии, инноваций и технической модернизации производства.

В рамках деятельности Казахстанско-Белорусского научно-образовательного консорциума Ниной Александровной разработано 2 международных научных проекта совместно с ведущими вузами Белоруссии.

Также она ведет активную общественную работу. Является членом редакционной коллегии университетского научного журнала «Механика и технологии», участвует в деятельности Ассоциации деловых женщин Жамбылской области.

Нина Александровна входит в состав членов технического комитета «Нанотехнологии» Республики Казахстан, координационного Совета Казахского научно-исследовательского института переработки сельскохозяйственной продукции. Является экспертом в Комитете технического регулирования и метрологии и Казахского института стандартизации и сертификации.

В 1990 году награждена медалью «Ветеран труда», в 2006 году – нагрудным знаком «За заслуги в развитии науки Республики Казахстан».

Наверняка каждый ее студент прекрасно знает любимые строки, которыми она начинает лекции по технологии переработки зерна:

«Зерно – как мы, живое чувство,
Зерно – как мы, живая плоть.
Дано не каждому искусство
Его в муку перемолоть».

Не эти ли строки являются доказательством того, что Нина Александровна с трепетной любовью относится к своей специальности и профессии? И, наверное, невозможно научить любить то, чего сам не любишь или не умеешь любить. Нина Александровна высококвалифицированный педагог, ученый и трудолюбивый человек. Будучи человеком преданным, выбранному однажды пути, она продолжает идти по нему и по сей день, преодолевая трудности жизненных перемен, воспитывая не одно поколение квалифицированных специалистов, развивая в них человеческие ценности и стремление к знаниям.

Коллектив лаборатории «Наноинженерные методы исследований им. А.С. Ахметова» в честь юбилея Нины Александровны организовал выставку ее научных и учебно-методических достижений, снял короткометражный фильм о ее жизнедеятельности. Нина Александровна была представлена коллективом лаборатории к присвоению звания «Почетный работник образования Республики Казахстан» и 14 декабря это высокая награда была вручена ей ректором Сарыбековым М.Н.

Еще раз поздравляем Нину Александровну со знаменательным юбилеем и желаем добра, счастья и успехов.

Коллектив научного журнала «Механика и технологии»

