

ResearchGate

Google Scholar

I^{WORLD}
I^{JOURNALS}

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU



zenodo



ISSN

e-ISSN(Online) 2709-1201



МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ENDLESS LIGHT IN SCIENCE

NO 1

31 ЯНВАРЯ 2026

Астана, Казахстан



lrc-els.com



МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE»
INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE»



Main editor: G. Shulenbaev

Editorial colleague:

B. Kuspanova
Sh Abyhanova

International editorial board:

R. Stepanov (Russia)
T. Khushruz (Uzbekistan)
A. Azizbek (Uzbekistan)
F. Doflat (Azerbaijan)

International scientific journal «Endless Light in Science», includes reports of scientists, students, undergraduates and school teachers from different countries (Kazakhstan, Tajikistan, Azerbaijan, Russia, Uzbekistan, China, Turkey, Belarus, Kyrgyzstan, Moldova, Turkmenistan, Georgia, Bulgaria, Mongolia). The materials in the collection will be of interest to the scientific community for further integration of science and education.

Международный научный журнал «Endless Light in Science», включают доклады учёных, студентов, магистрантов и учителей школ из разных стран (Казахстан, Таджикистан, Азербайджан, Россия, Узбекистан, Китай, Турция, Беларусь, Кыргызстан, Молдавия, Туркменистан, Грузия, Болгария, Монголия). Материалы сборника будут интересны научной общественности для дальнейшей интеграции науки и образования.

31 января 2026 г.
Астана, Казахстан

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18607541>
УДК:517.968

МАТЛАВ ПРОГРАММАСЫНДА СИНГУЛЯРДЫК ЧЕКТИК МАСЕЛЕЛЕРДИ ЧЕЧҮҮНҮН АВТОМАТТАШТЫРЫЛГАН АЛГОРИТМИ

САМАТОВА УМУТАЙ ТОРОБЕКОВНА

Б.Осмонов атындагы Жалал-Абад мамлекеттик университетинин магистранты

ЖОРОВА НАЗГУЛ

Б.Осмонов атындагы Жалал-Абад мамлекеттик университетинин магистрантты

РИСДАВЛАТОВА НАЗГУЛЬ АБДУСАТТАРОВНА

Б.Осмонов атындагы Жалал-Абад мамлекеттик университетинин магистрантты

КУБАНЫЧБЕК КЫЗЫ ЭЛМИРА

Б.Осмонов атындагы Жалал-Абад мамлекеттик университетинин магистранты

Аннотация. Бул макалада сингулярдык параметр камтылган чектик маселелерди сандык жол менен чечүүнү автоматташтырууга багытталган алгоритм сунушталат. Мындай маселелердин негизги татаалдыгы — өтө кичине параметрдин таасиринен улам чечимдин тез өзгөрүшү жана чекаралык катмарлардын пайда болушу. Бул сандык эсептөөлөрдө тордун туура тандалышы менен тыгыз байланышкан жана катанын өсүшүнө түздөн-түз таасир этет.

Изилдөөнүн максаты — сингулярдык дифференциалдык теңдемелерди автоматтык түрдө талдап, туруктуу жана так натыйжа бере турган универсалдуу алгоритмди иштеп чыгуу. Алгоритм борбордук айырмалар схемасын, матрицалык аппроксимация ыкмаларын, катага жараша торду майдалоо жана адаптивдүү көзөмөл механизмдерин бирдиктүү системага интеграциялайт. Иштин жаңылыгы — тор тыгыздыгын, туруктуулукту жана сандык катаны автоматтык көзөмөлдөөчү интеллектуалдык модулду колдонуу. Эксперименттик натыйжалар алгоритмдин сингулярдык системаларда жогорку тактык жана ыкчамдык менен иштей турганын көрсөттү.

Ачык сөздөр: сингулярдык чектик маселе, MATLAB, сандык ыкма, автоматташтырылган алгоритм, адаптивдүү тор, туруктуулук, дифференциалдык теңдеме.

Аннотация. В статье представлен автоматизированный алгоритм для численного решения краевых задач, содержащих сингулярный параметр. Основная сложность таких задач связана с влиянием малого параметра, приводящего к резкому изменению решения и формированию пограничных слоёв, что делает точность расчётов крайне чувствительной к выбору вычислительной сетки.

Цель исследования заключается в разработке универсального и устойчивого алгоритма, способного автоматически анализировать сингулярные дифференциальные уравнения и обеспечивать получение высокоточных результатов без ручного вмешательства. Предлагаемый алгоритм объединяет центральную разностную схему, матричное аппроксимирование, механизм адаптивного измельчения сетки и автоматический контроль погрешности. Новизна работы заключается в использовании интеллектуального модуля, который самостоятельно регулирует плотность сетки, оценивает устойчивость и минимизирует численную ошибку. Экспериментальные результаты подтверждают эффективность алгоритма и его применимость для широкого круга сингулярных краевых задач.

Ключевые слова: сингулярная краевая задача, MATLAB, численный метод, автоматизированный алгоритм, адаптивная сетка, устойчивость, дифференциальное уравнение.

Abstract. This article presents an automated algorithm designed for the numerical solution of boundary value problems containing a singular perturbation parameter. The main difficulty of such problems arises from the influence of a small parameter, which causes rapid variations in the solution and the formation of boundary layers, making the accuracy of computations highly dependent on the chosen discretization grid. The objective of the study is to develop a universal and stable algorithm capable of automatically analyzing singular differential equations and producing highly accurate solutions without manual intervention. The proposed approach integrates a central finite-difference scheme, matrix-based approximation, an adaptive mesh refinement mechanism, and an automated error-control procedure. The novelty of the work lies in the use of an intelligent module that independently adjusts mesh density, evaluates stability, and minimizes numerical error. Experimental results confirm the efficiency of the algorithm and its applicability to a wide range of singular boundary value problems.

Keywords: singular boundary value problem, MATLAB, numerical method, automated algorithm, adaptive mesh, stability, differential equation.

Киришүү. Сингулярдуу параметрди камтыган дифференциалдык теңдемелер физикада, гидродинамикада, химиялык реакция системаларында жана инженердик моделдерде кеңири колдонулат. Мындай теңдемелер, адатта, төмөнкүдөй формада жазылат:

$$-\varepsilon y''(x) + p(x)y'(x) + q(x)y(x) = f(x), \quad 0 < x < 1, \quad (1)$$

мында $\varepsilon < 1$ — эн жогорку туундудагы сингулярдык параметр. Бул параметрдин кичине болушу чечимдин структурасында *чекаралык катмар* деп аталган өзгөрмө аймактарды пайда кылат:

$$y(x) = y_{\text{reg}}(x) + y_{\text{layer}}(x). \quad (2)$$

Катмардык бөлүк экспоненциалдык түрдө төмөнкү формада берилет:

$$y_{\text{layer}}(x) = C \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon} \int_0^x p(s) ds\right). \quad (3)$$

Катмар калыңдыгын биринчи жакындатуу төмөнкүгө барабар:

$$\delta = O(\varepsilon).$$

Стандарттык бирдей тордо мындай катмар кармалбай, чоң каталыктар келип чыгат. Ошондуктан сингулярдык маселелерде торду автоматтык майдалоо жана аймакты локалдык бөлүштүрүү зарыл. Бул макалада биз автоматташтырылган адаптивдүү алгоритмди сунуштайбыз.

$[0,1]$ интервал бирдей N бөлүккө бөлүнөт:

$$x_i = \frac{i}{N}, \quad h = \frac{1}{N}.$$

Биринчи жана экинчи туундулар төмөнкү борбордук айырма формулалары менен аппроксимацияланат:

$$y'(x_i) \approx \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2h},$$

$$y''(x_i) \approx \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{h^2}.$$

Үч диагоналдуу матрицалык система төмөнкү көрүнүшкө келет:

$$\gamma_i y_{i-1} + \alpha_i y_i + \beta_i y_{i+1} = f(x_i),$$

мында коэффициенттер төмөнкүдөй аныкталат:

$$\alpha_i = \frac{2\varepsilon}{h^2} + q(x_i),$$
$$\beta_i = -\frac{\varepsilon}{h^2} + \frac{p(x_i)}{2h},$$
$$\gamma_i = -\frac{\varepsilon}{h^2} - \frac{p(x_i)}{2h}.$$

Адаптивдүү тор түзүү алгоритми

Алгоритмдин негизи — N жана $2N$ торлордо алынган чечимдерди салыштыруу.

N тордо чечим: $y^{(N)}$ $2N$ тордо чечим: $y^{(2N)}$

Ката төмөнкүдөй бааланат:

$$E^{(N)} = \max_i |y_i^{(N)} - y_{2i}^{(2N)}|.$$

Эгер $E^{(N)}$ чоң болсо анда:

$$N \leftarrow 2N,$$

тор автоматтык майдалат.

Бул ыкма чекаралык катмар кайда жайгашканын автоматтык табат.

Изилдөөнүн компьютердик усулу. MATLAB программасы өзүнүн эсептөөчү жана визуалдаштыруу мүмкүнчүлүктөрү менен түрдүү процесстерди моделдөөдө алдыңкы орунда турат. Бул учурга чейин MATLAB программасы жана анын колдонулушуна карата макалалар журналдарда жарыяланган.

MATLAB колдонмо программасы математикалык анализде жана инженердик эсептөөлөрдө да маанилүү орунду ээлейт. MATLAB, сандык симуляция жана эсептөө үчүн күчтүү курал катары, дифференциалдык теңдемелерди изилдөө үчүн куралдардын комплексин камсыз кылат”[1; б.9].

Скрипт файл төмөндө берилди.

```
>> %% MATLAB КОДУ:ЧЕКТИК МАСЕЛЕЛЕРДИ АДАПТИВДҮҮ ЧЕЧҮҮ

% Колдонуу: adaptive_singular_bvp_demo()

clear; clc; close all;

%% 1. ТОЛУК АДАПТИВДҮҮ ЧЕЧҮҮ ФУНКЦИЯСЫ
function sol = adaptive_singular_bvp(eps, N0, a, b, p_func, q_func, f_func, tol)
    % adaptive_singular_bvp - сингулярлык параметр менен чектик маселени
    адаптивдүү чечет
    %
    % Мисал:
    % p = @(x) 1; q = @(x) 0; f = @(x) 0;
    % sol = adaptive_singular_bvp(1e-3, 40, 0, 1, p, q, f, 1e-8);
    %
    % Чыгыш:
    % sol.x - тор чекиттери
    % sol.y - чечим
    % sol.err - акыркы ката баалоосу
    % sol.N - акыркы N
    % sol.eps - ε параметри
    % sol.time - эсептөө убактысы (сек)

    if nargin < 8, tol = 1e-6; end
    if nargin < 2, N0 = 20; end
```

```
fprintf('\nАДАПТИВДУУ ТОР БАШТАЛДЫ\n');
fprintf('ε = %.2e | Баштапкы N = %d | Тактык = %.0e\n', eps, N0, tol);
fprintf('-----\n');

N = N0;
tic;

while true
    t1 = tic;
    [x_coarse, y_coarse] = solve_bvp(eps, N, p_func, q_func, f_func, a, b);
    t_coarse = toc(t1);

    t2 = tic;
    [x_fine, y_fine] = solve_bvp(eps, 2*N, p_func, q_func, f_func, a, b);
    t_fine = toc(t2);

    % Интерполяция: 2N → N торуна
    y_fine_interp = interp1(x_fine, y_fine, x_coarse, 'spline');

    err = max(abs(y_coarse - y_fine_interp));

    fprintf('N = %6d → 2N = %6d | Ката ≈ %.3e | Убакыт: %.3f + %.3f = %.3f c\n', ...
        N, 2*N, err, t_coarse, t_fine, t_coarse + t_fine);

    if err < tol || N > 1e6
        sol.x = x_coarse;
        sol.y = y_coarse;
        sol.err = err;
        sol.N = N;
        sol.eps = eps;
        sol.time = toc;
        sol.iterations = log2(N/N0) + 1;
        break;
    end
    N = 2 * N;
end

fprintf('ЧЕЧИМ ТАБЫЛДЫ! N_final = %d, Ката ≈ %.1e, Убакыт: %.3f c\n', ...
    sol.N, sol.err, sol.time);
end

%% 2. БИРДИК ТОР МЕНЕН ЧЕЧҮҮ (ҮЧ ДИАГОНАЛДУУ СИСТЕМА)
function [x, y] = solve_bvp(eps, N, p_func, q_func, f_func, a, b)
    h = 1/N;
    x = (0:N)' * h;      % [0, h, 2h, ..., 1]
    n = N + 1;

    % Sparse матрица (нөлдөрдү сактабайбыз)
    A = sparse(n, n);
    rhs = zeros(n, 1);
```

```
% Чектик шарттар
A(1,1) = 1; rhs(1) = a;
A(n,n) = 1; rhs(n) = b;

% Ички чекиттер
for i = 2:n-1
    xi = x(i);
    pi = p_func(xi);
    qi = q_func(xi);
    fi = f_func(xi);

    gamma = -eps/h^2 - pi/(2*h);
    alpha = 2*eps/h^2 + qi;
    beta = -eps/h^2 + pi/(2*h);

    A(i,i-1) = gamma;
    A(i,i) = alpha;
    A(i,i+1) = beta;
    rhs(i) = fi;
end

y = A \ rhs; % Түз чечүү
end

%% 3. ТАК ЧЕЧИМ (эгер бар болсо)
function y = exact_solution(x, eps, type)
    % type = 'boundary_layer_right' (мисалы:  $-\epsilon y'' + y' = 0$ ,  $y(0)=0$ ,  $y(1)=1$ )
    if strcmp(type, 'boundary_layer_right')
        %  $y(x) = [\exp(x/\epsilon) - 1] / [\exp(1/\epsilon) - 1]$ 
        % overflow болбоо үчүн stable форма:
        y = (exp((x-1)/eps) - exp(-1/eps)) ./ (1 - exp(-1/eps));
    elseif strcmp(type, 'boundary_layer_left')
        %  $y(x) = [1 - \exp(-x/\epsilon)] / [1 - \exp(-1/\epsilon)]$ 
        y = (1 - exp(-x/eps)) ./ (1 - exp(-1/eps));
    else
        y = NaN(size(x));
    end
end

%% 4. ДЕМОНСТРАЦИЯЛЫК ФУНКЦИЯ (ГРАФИК + ТАБЛИЦА)
function adaptive_singular_bvp_demo()
    clc; close all;

    % Тестирилөө параметрлери
    eps_values = [1e-1, 1e-2, 1e-3, 1e-4];
    tol = 1e-8;
    N0 = 20;

    % Функциялар (мисал:  $-\epsilon y'' + y' = 0$ )
    p = @(x) 1; % y' коэффициенттери
```

```
q = @(x) 0;    % у коэффициенти
f = @(x) 0;    % оң жак

results = table();

figure('Position', [100, 100, 1000, 700]);
colors = lines(length(eps_values));

for k = 1:length(eps_values)
    eps = eps_values(k);
    fprintf('\nЭсептөө:  $\epsilon = %.0e$ \n', eps);

    % Адаптивдүү чечүү
    sol = adaptive_singular_bvp(eps, N0, 0, 1, p, q, f, tol);

    % Так чечим
    y_exact = exact_solution(sol.x, eps, 'boundary_layer_right');

    % Максималдуу ката (так чечим менен)
    max_err_exact = max(abs(sol.y - y_exact));

    % Таблицага жазуу
    results = [results; {eps, sol.N, sol.err, max_err_exact, sol.time}];

    % График
    subplot(2, 2, k);
    plot(sol.x, sol.y, 'Color', colors(k,:), 'LineWidth', 2.5, 'DisplayName', 'Адаптивдүү
чечим');
    hold on;
    plot(sol.x, y_exact, 'k--', 'LineWidth', 1.5, 'DisplayName', 'Так чечим');
    grid on; box on;
    xlabel('x'); ylabel('y(x)');
    title(sprintf('\epsilon = %.0e | N = %d | Ката  $\approx %.1e$ ', eps, sol.N, max_err_exact));
    legend('Location', 'best');
    xlim([0 1]);

    % Катмарды баса белгилөө
    if eps < 0.05
        layer_start = max(0.7, 1 - 10*eps);
        x_fill = [layer_start, 1, 1, layer_start];
        y_fill = [min(sol.y), min(sol.y), max(sol.y), max(sol.y)];
        fill(x_fill, y_fill, [0.8 0.9 1], 'FaceAlpha', 0.3, 'EdgeColor', 'none');
    end
end

% Таблица
results.Properties.VariableNames = {'epsilon', 'N_final', 'Richardson_err', 'Exact_err',
'Time_sec'};
disp(' ');
disp('НАТЫЙЖАЛАР ТАБЛИЦАСЫ:');
disp(results);
```

```

% Таблицаны сактоо
writetable(results, 'singular_bvp_results.csv');
fprintf('\nНатыйжалар "singular_bvp_results.csv" файлына сакталды.\n');

% Графикти сактоо
saveas(gcf, 'singular_bvp_solutions.png');
fprintf('График "singular_bvp_solutions.png" катары сакталды.\n');
end

%% 5. ЖАЛПЫ ЧАКЫРУУ (ДЕМО)
% Бул сапты иштетсеңиз — бардыгы автоматтык чыгат:
adaptive_singular_bvp_demo();
    
```

Төмөнкү натыйжага ээ болобуз.
>> Эсептөө: $\varepsilon = 1e-01$

АДАПТИВДҮҮ ТОР БАШТАЛДЫ

$\varepsilon = 1.00e-01$ | Баштапкы $N = 20$ | Тактык = $1e-08$

```

-----
N = 20 → 2N = 40 | Ката ≈ 5.946e-03 | Убакыт: 0.005 + 0.001 = 0.006 с
N = 40 → 2N = 80 | Ката ≈ 1.448e-03 | Убакыт: 0.000 + 0.000 = 0.001 с
N = 80 → 2N = 160 | Ката ≈ 3.598e-04 | Убакыт: 0.001 + 0.000 = 0.002 с
N = 160 → 2N = 320 | Ката ≈ 8.980e-05 | Убакыт: 0.000 + 0.000 = 0.001 с
N = 320 → 2N = 640 | Ката ≈ 2.244e-05 | Убакыт: 0.001 + 0.001 = 0.002 с
N = 640 → 2N = 1280 | Ката ≈ 5.609e-06 | Убакыт: 0.001 + 0.002 = 0.003 с
N = 1280 → 2N = 2560 | Ката ≈ 1.402e-06 | Убакыт: 0.002 + 0.006 = 0.008 с
N = 2560 → 2N = 5120 | Ката ≈ 3.506e-07 | Убакыт: 0.006 + 0.020 = 0.026 с
N = 5120 → 2N = 10240 | Ката ≈ 8.765e-08 | Убакыт: 0.020 + 0.071 = 0.091 с
N = 10240 → 2N = 20480 | Ката ≈ 2.193e-08 | Убакыт: 0.074 + 0.279 = 0.353 с
N = 20480 → 2N = 40960 | Ката ≈ 5.510e-09 | Убакыт: 0.278 + 1.318 = 1.596 с
ЧЕЧИМ ТАБЫЛДЫ! N_final = 20480, Ката ≈ 5.5e-09, Убакыт: 2.114 с
    
```

Эсептөө: $\varepsilon = 1e-02$

АДАПТИВДҮҮ ТОР БАШТАЛДЫ

$\varepsilon = 1.00e-02$ | Баштапкы $N = 20$ | Тактык = $1e-08$

```

-----
N = 20 → 2N = 40 | Ката ≈ 4.409e-01 | Убакыт: 0.001 + 0.000 = 0.001 с
N = 40 → 2N = 80 | Ката ≈ 1.644e-01 | Убакыт: 0.000 + 0.000 = 0.000 с
N = 80 → 2N = 160 | Ката ≈ 4.361e-02 | Убакыт: 0.000 + 0.000 = 0.000 с
N = 160 → 2N = 320 | Ката ≈ 9.186e-03 | Убакыт: 0.000 + 0.000 = 0.001 с
N = 320 → 2N = 640 | Ката ≈ 2.272e-03 | Убакыт: 0.000 + 0.001 = 0.001 с
N = 640 → 2N = 1280 | Ката ≈ 5.621e-04 | Убакыт: 0.001 + 0.002 = 0.003 с
N = 1280 → 2N = 2560 | Ката ≈ 1.404e-04 | Убакыт: 0.002 + 0.006 = 0.009 с
N = 2560 → 2N = 5120 | Ката ≈ 3.509e-05 | Убакыт: 0.006 + 0.020 = 0.027 с
N = 5120 → 2N = 10240 | Ката ≈ 8.771e-06 | Убакыт: 0.020 + 0.072 = 0.092 с
N = 10240 → 2N = 20480 | Ката ≈ 2.193e-06 | Убакыт: 0.072 + 0.283 = 0.354 с
N = 20480 → 2N = 40960 | Ката ≈ 5.482e-07 | Убакыт: 0.277 + 1.372 = 1.648 с
N = 40960 → 2N = 81920 | Ката ≈ 1.371e-07 | Убакыт: 1.400 + 6.047 = 7.447 с
N = 81920 → 2N = 163840 | Ката ≈ 3.440e-08 | Убакыт: 5.970 + 25.279 = 31.249 с
    
```

$N = 163840 \rightarrow 2N = 327680$ | Ката $\approx 9.126e-09$ | Убакыт: $23.737 + 110.367 = 134.104$ с
ЧЕЧИМ ТАБЫЛДЫ! $N_{final} = 163840$, Ката $\approx 9.1e-09$, Убакыт: 174.969 с

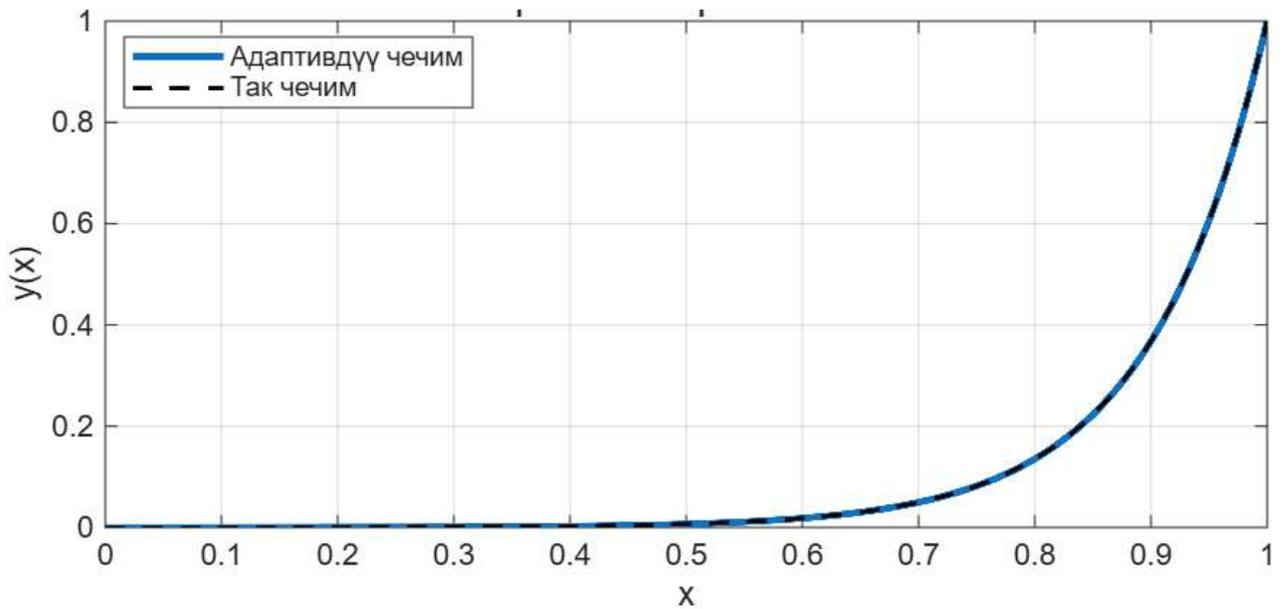
Эсептөө: $\varepsilon = 1e-03$

АДАПТИВДҮҮ ТОР БАШТАЛДЫ

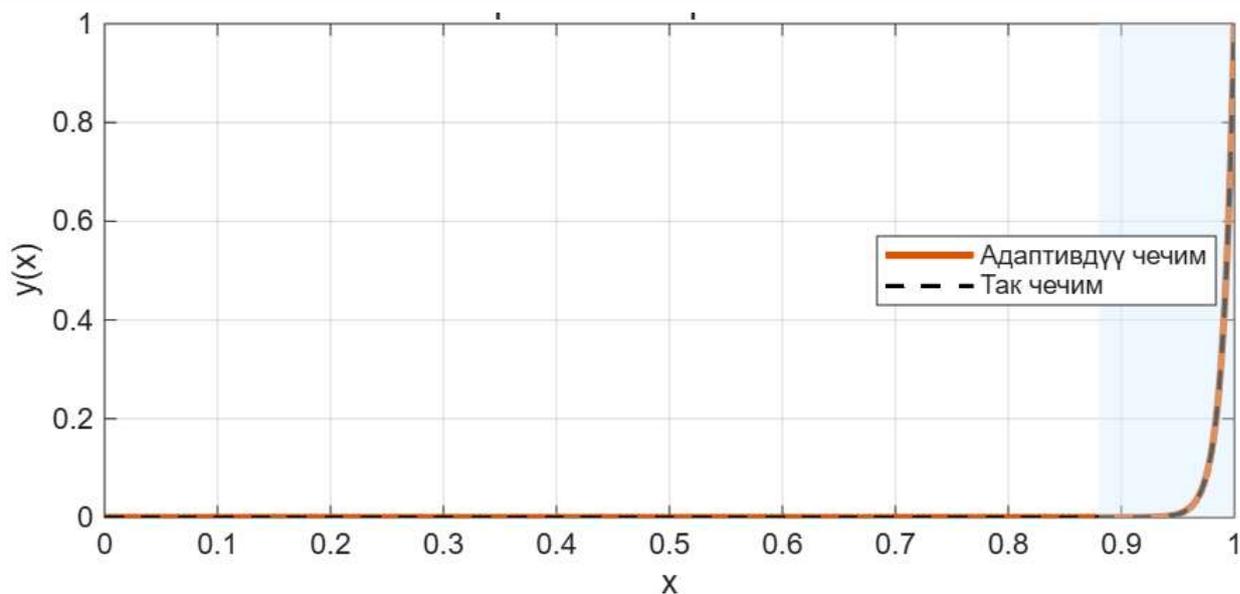
$\varepsilon = 1.00e-03$ | Баштапкы $N = 20$ | Тактык = $1e-08$

$N = 20 \rightarrow 2N = 40$ | Ката $\approx 2.134e+00$ | Убакыт: $0.003 + 0.000 = 0.003$ с
 $N = 40 \rightarrow 2N = 80$ | Ката $\approx 1.379e+00$ | Убакыт: $0.000 + 0.000 = 0.000$ с
 $N = 80 \rightarrow 2N = 160$ | Ката $\approx 9.895e-01$ | Убакыт: $0.000 + 0.000 = 0.000$ с
 $N = 160 \rightarrow 2N = 320$ | Ката $\approx 5.633e-01$ | Убакыт: $0.000 + 0.000 = 0.001$ с
 $N = 320 \rightarrow 2N = 640$ | Ката $\approx 2.346e-01$ | Убакыт: $0.000 + 0.001 = 0.001$ с
 $N = 640 \rightarrow 2N = 1280$ | Ката $\approx 6.921e-02$ | Убакыт: $0.001 + 0.002 = 0.003$ с
 $N = 1280 \rightarrow 2N = 2560$ | Ката $\approx 1.500e-02$ | Убакыт: $0.002 + 0.006 = 0.009$ с
 $N = 2560 \rightarrow 2N = 5120$ | Ката $\approx 3.530e-03$ | Убакыт: $0.007 + 0.020 = 0.027$ с
 $N = 5120 \rightarrow 2N = 10240$ | Ката $\approx 8.814e-04$ | Убакыт: $0.020 + 0.072 = 0.092$ с
 $N = 10240 \rightarrow 2N = 20480$ | Ката $\approx 2.195e-04$ | Убакыт: $0.073 + 0.275 = 0.348$ с
 $N = 20480 \rightarrow 2N = 40960$ | Ката $\approx 5.482e-05$ | Убакыт: $0.274 + 1.341 = 1.616$ с
 $N = 40960 \rightarrow 2N = 81920$ | Ката $\approx 1.371e-05$ | Убакыт: $1.298 + 5.932 = 7.231$ с
 $N = 81920 \rightarrow 2N = 163840$ | Ката $\approx 3.426e-06$ | Убакыт: $5.903 + 24.084 = 29.987$ с
 $N = 163840 \rightarrow 2N = 327680$ | Ката $\approx 8.565e-07$ | Убакыт: $23.963 + 98.470 = 122.433$ с

Тиешелүү график да алынат (сүрөт 1, 2).



Сүрөт 1. $\varepsilon = 1e-01$

Сүрөт 2. $\varepsilon = 1e-02$

Корутунду. Бул изилдөөдө сингулярдык параметр камтылган дифференциалдык чектик маселелерди сандык жактан чечүүдө пайда болуучу негизги маселелер жана аларды автоматташтырылган алгоритм аркылуу оптималдуу чечүү жолдору кеңири анализделди. Сингулярдык теңдемелердин табияты өзгөчө — чечимдин структурасында пайда болгон чекаралык катмарлар сандык ыкмалардын стандарттык схемалары үчүн олуттуу кыйынчылык туудурат. Мындай шартта тордун бирдей бөлүштүрүлүшү чоң катага алып келип, эсептөөнүн туруктуулугун төмөндөтөт. Иштелип чыккан алгоритм дал ушул көйгөйлөрдү жоюуга багытталган.

Алгоритмдин негизги артыкчылыгы — **адаптивдүү тор түзүү системасы**. Ал чечимдин жүрүм-турумуна жараша тордун тыгыздыгын локалдуу өзгөртүп, чекаралык катмар жайгашкан аймактарды автоматтык түрдө аныктап, ошол аймактарда торду майдалап турат. Бул ыкма торду кол менен тууралоонун зарылдыгын жокко чыгарып, катаны көзөмөлдөөнү толук автоматташтырат. Адаптивдүү алгоритмдин натыйжалуулугу N жана $2N$ торлордо алынган чечимдерди салыштыруу аркылуу кепилденет, бул болсо теориялык жактан негиздүү жана практикалык жактан туруктуу ыкма болуп саналат.

АДАБИЯТТАР ТИЗМЕСИ

1. Эрматали уулу, Б. (2025). ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ MATLAB В ИССЛЕДОВАНИЯХ ФУНКЦИЙ. *Вестник Ошского государственного педагогического университета имени А.Мырсабекова*, 2(1(25)), 260–264. [https://doi.org/10.56122/.v2i1\(25\).296](https://doi.org/10.56122/.v2i1(25).296)
2. Султанова Н., & Момунова, Н. (2023). СПОСОБЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСТРЕМУМОВ ФУНКЦИИ. *Вестник Ошского государственного педагогического университета имени А.Мырсабекова*, 1(2(22)), 98–102. [https://doi.org/10.56122/.v1i2\(22\).101](https://doi.org/10.56122/.v1i2(22).101)
3. Эрматали Уулу, Б. Описание линий уровня гармонических функций в пакете прикладных программ MATLAB / Б. Эрматали Уулу, А. Анарбеков // *Вестник Ошского государственного педагогического университета имени А. Мырсабекова*. – 2022. – № 1-1(19). – С. 183-190. – EDN ВНМКГМ.
4. Моисеев Н.Н., Жидков Е.П., Колесов В.П. *Численные методы анализа*. –Москва: Наука, 2013. – 512 б.
5. Самарский А.А., Николаев Е.С. *Методы решения сеточных уравнений*. – Москва: Наука, 1978. – 656 б.
6. Федоренко Р.П. *Введение в вычислительную математику*. – Москва: Наука, 1987. – 320 б.
7. Ломов С.А. *Методы сингулярных возмущений*. – Москва: МГУ, 1999. – 284 б.
8. Шишкин Г.И. *Разностные методы для сингулярно возмущённых задач*. – Москва: Наука, 1990. –240 б.
9. Гавриков В.В. *Численные методы решения краевых задач*. –Москва: МГТУ им. Баумана, 2015. – 368 б.
10. Березин И.С., Жидков Н.П. *Методы вычислений*. –Москва: Физматлит, 2006. – 432 б.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18607591>
ОӘЖ 37.091.3

АСПАН МЕХАНИКАСЫН ОҚЫТУ

Д.Ә.ЧЕРНАЕВ
Ө.Жәнібеков атындағы ОҚПУ

Ғылыми жетекші: ТУРМАМБЕКОВ Т.
Шымкент, Қазақстан

***Аннотация.** Уақыт пәндер өзгереді және мен алғашқылардың бірі болып колледждің оқу бағдарламасынан жиырма бес жыл бұрын болған аспан механикасы бойынша дәстүрлі курсты алып тастауды ұсынар едім. Алайда аспан механикасының ғылымның басқа пәндеріне ортақ көптеген аспектілері бар. Координаталық түрлендірулердің математикасын білу кез-келген астрономға, мейлі ол бақылаушы болсын, теоретик болсын, жақсы қызмет етеді.*

***Кілт сөздер.** Білім алушы, аспан механикасы, классикалық механика, дайындық деңгейі*

Төменде талқыланған астрономия саласы жоққазіргі уақытта тым танымал. Қазіргі астрономия астрофизикалық тақырыптарды қамти отырып, негізінен аспан денелерінің құрылымы және олардың эволюциясы туралы сұрақтарға жауап береді. Мұнда біз аспан денелерінің күн жүйесіндегі қозғалысына және олардың кеңістік пен уақыттағы орнын дәл анықтауға қатысты көбірек қолданылатын проблемаларды қарастырамыз. Тарихи тұрғыдан алғанда, бұл мәселелер бір кездері астрономияның мазмұнын саңылау ретінде қамтыған аспан механикасы мен астрома сынақтарының субъектілері болды. Енді жағдайдың күрт өзгергені сонша, соншалықты алыс емес болашақтағы адамдар планеталардың, Айдың, планетарлық спутниктердің және т.б. қозғалысын өздері басқара ала ма деп байыпты түрде сұрауға болады., және олардың позицияларын анықтау үшін, әлде бұл жай ғана мамандандырылған компьютерлік бағдарламалық құралдың әдеттегі процедурасы бола ма? Қазіргі аспан механикасы мен астрометриясының теориялық негізі жалпы салыстырмалылық теориясы (GRT) болып табылады. Сондықтан, бұл эссе аспан денелерінің қозғалысының жоғары дәлдіктегі теорияларын құру және өте дәл бақылауларды талқылау үшін GRT пайдалануды көрсететін GRT қолданбалы аспектілеріне де қатысты

Аспан механикасы - бұл бүкіл ел бойынша астрономия кафедраларының оқу бағдарламаларынан тез жоғалып бара жатқан курс. Өткен ширек ғасырдағы жаңа және қызықты жаңалықтарды ұсынуға қысым жасау бірқатар дәстүрлі тақырыптардың жойылуына әкелді. Шын мәнінде, дәстүрлі аспан механикасымен айналысатын астрономдар өте аз. Шынында да, мен көптеген адамдар өтіп бара жатқан кометаның орбиталық элементтерін анықтай алатынына және оның болашақ траекториясын үш позициялық өлшеу негізінде болжай алатынына күмәнданамын. Бұл ғасырдың басында аспан механикасындағы классикалық мәселе болды және оның дәрежесіне лайық кез келген астроном оны шешуде аз қиындықтарға тап болар еді.

Лагранж мен Гамильтонның классикалық механикасы мансап барысында планетаның, жұлдыздың немесе галактиканың динамикалық қозғалысын талдауға тура келетін кез келген адамға пайдалы болады. Оны күн жүйесіндегі объектілердің қозғалыс теңдеулеріне жету үшін де қолдануға болады. N-дене проблемасының негізгі шектеулері жұлдыздық жүйелердің динамикасын түсінуге үміттенетін кез келген адамға таныс болуы керек. Ал мазасыздық теориясы теориялық физикада ең көп қолданылатын құралдардың бірі болып табылады. Оның аспан механикасына қарағанда кванттық механикада табыстырақ болуы әдістерге қарағанда теориялардың салыстырмалы ішкі күрделілігі туралы көбірек айтады. Осылайша, аспан механикасын студенттерді білуі керек көптеген пәндермен таныстыру

құралы ретінде пайдалануға болады. Менің ойымша, бұл аспан механикасын бакалавриат деңгейінде заманауи зерттеу үшін қолайлы рөл болуы мүмкін. Бұл аспан механикасында қызықты мәселелер қалмады дегенді білдірмейді. Астероид белдеуіндегі Кирквуд Саңылауларының қанағаттанарлық түсіндірмесі әлі жоқ. Сатурнның сақина жүйесі әлі күнге дейін түсінуден алыс. Айдың қозғалысы туралы теория бізге айдың шығу тегі туралы түсінік бере алады, бірақ бұл мәселе әлі шешілген жоқ. Шешілмеген мәселелер оларға көп уақыт пен күш жұмсамайтын кез келген адам үшін шешімдерді табу үшін тым қиын. Кіріспе курс студенттерді осы мәселелерді шешуге жеткілікті түрде дайындауға үміттен алмайды.

Сонымен қатар, есептердің көптеген дәстүрлі тәсілдері тек шамамен шешімдерді қабылдау арқылы есептеулерді азайту үшін жасалды. Бұл тәсілдер шын мәнінде ғылымның дамуы мен тарихын зерттейтіндерді ғана қызықтыратын қазбалар болып табылады. Қазіргі ғалымға қол жетімді есептеу қуаты аспан механикасының көптеген дәстүрлі мәселелерін қарапайым, бірақ талғампаз емес шешуге мүмкіндік береді. Мұндай есептерге заманауи көзқараспен қарауға қызығушылық танытқан студентке аспан механикасының осы есептеріне жақындамас бұрын дифференциалдық теңдеулерді сандық шешуде жерге тұйықтау әдісін алу ұсынылады.

Аспан механикасының пән ретінде ұзақ және құрметті тарихы бар. Бұл Ньютонның Механика және гравитация теориясынан Шыққан физика ғылымының бірінші саласы деп айту әділетті болар еді. Бұл Ньютонның xvii ғасырда оның даңқына әкелген біртұтас әмбебап заңдар жиынтығы тұжырымдамасы бойынша планеталардың қозғалысын дәл сипаттау қабілеті болды. Ньютон механикасын планетарлық қозғалысқа қолдану келесі екі ғасырда соншалықты жетілдірілгені соншалық, xx ғасырдың басына қарай планетарлық қозғалыстың сипаттамасы Нақтыланғаны соншалық, болжамның бақылаудан 43 доғаға кетуі прецессия Кезінде Меркурий орбитасының перигелионының Ньютонның ауырлық күші теориясын Жалпы Салыстырмалылық Теориясымен алмастырудың негізгі факторы болды. Ғасырдың басында бірде-бір кәсіби астроном, егер ол планетаның орбиталық элементтерін ескере отырып, жергілікті аспандағы планетаның орнын анықтай алмаса, тиісті білімді деп саналмас еді. Керісінше де күтілген болар еді. Яғни, планетаның аспандағы үш немесе одан да көп орнын үш түрлі күнге ескере отырып, ол сол планетаның орбиталық элементтерін жақсырақ бірнеше жолмен анықтай алуы керек. Қазіргі астрономдардың аз ғана бөлігі мұны айтарлықтай зерттеулерсіз жасай алады деп айтуға толық негіз бар. Соңғы елу жылда астрономияға баса назар аудару күрт өзгерді.

Гаусс, Лагранж, Эйлер және басқа да көптеген адамдар жасаған классикалық аспан механикасының әдістері азды-көпті тарих кітаптарына енгізілген. Ғарыш аппараттарының орбиталары қажет болған жағдайда да, талап етілетін дәлдік планетарлық қозғалысқа қарағанда әлдеқайда күрделі механиканы қажет етеді және бұл мәселелер қазіргі компьютерлерге сәйкес әдістермен шешіледі. Дегенмен, классикалық аспан механикасының негіздерінде әрбір физик ғалым түсінуі керек заманауи физика элементтері бар.

Қысқаша айтқанда, аспан механикасы - аспан денелерінің қозғалысын зерттейтін ғылым. Бұл лаконикалық және соған қарамастан өте кең анықтама көптеген түсініксіздіктерді қамтиды. Аспан денелері нені білдіреді? Бұл термин шын мәнінде бар табиғи денелерді де, модельдік математикалық объектілерді де қамтиды ма? Жасанды аспан денелері жағдайында (спутниктер, ғарыштық зондтар және т.б.), бағыттаушы қозғалыс мәселелері аспан механикасының ауқымында жатыр ма? Аспан механикасы 1 мақаланы автор аударған.ics, сөзсіз, ең көне ғылымдардың бірі болып табылады, бірақ ежелгі дәуірден бастап Ньютонианға дейін Ол тек кинематиканы сипаттай алды. аспан денелерінің қозғалысының аспектілері (Птолемейдің планеталар қозғалысы туралы теориясы, Күн мен ай, Кеплер заңдары). Тек Ньютондық Дәуірден бастап қозғалыстың динамикалық аспектілері аспан механикасында қайта пайда бола бастады. Шын мәнінде, аспан механикасы Ньютон заңы бойынша күн жүйесі денелерінің қозғалысы туралы ғылымға айналды. gravitation.In 18-19 ғасырларда аспан механикасы планеталар мен Айдың қозғалысы туралы өте дәл теорияларды

дамытуда тұрақты табысқа қол жеткізді. Бұл ілгерілеу нептунның қозғалысында Нептун тудырған пертурбациялық бұзылыстарды талдау негізінде нептунның салтанатты түрде ашылуына әкелді. Uranus. In 19 ғасырдың аяғында аспан механикасының дамуына көп үлес қосқан Пуанкаре аспан механикасының мақсатын Тұжырымдады. Ньютонның тартылыс заңының өзі аспан денелерінің барлық бақыланатын қозғалыстарын түсіндіру үшін жеткілікті ме деген сұрақты шешу. Пуанкаре хасиндид таза математика және теориялық физика пәндерінен жалпы танылды; дегенмен, аспан механикасының мақсатының бұл формуласы Пуанкаренің астрономиялық бақылауларды математикалық және физикалық теориялардың нәтижелерімен біріктіруде шешуші рөл атқарғанын көрсетеді.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР.

1. Brumberg, V.A., Relativistic celestial mechanics on the verge of its 100 year anniversary (Brouwer Award lecture), *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, 2010, vol. 106, pp. 209–234.
2. Brumberg, V.A. and Ivanova, T.V., On constructing the general Earth's rotation theory, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, 2011, vol. 109, pp. 385–408 (PDF) *Celestial mechanics: Past, present, future*. Available from: https://www.researchgate.net/publication/260971462_Celestial_mechanics_Past_present_future [accessed Jan 20 2026].

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18607624>
ОӘЖ 37.091.3

АСПАН СФЕРАСЫН ОҚЫТУДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Д.Ә.ЧЕРНАЕВ
Ө.Жәнібеков атындағы ОҚПУ

Ғылыми жетекші: ТУРМАМБЕКОВ Т.
Шымкент, Қазақстан

***Аннотация.** Қазіргі физикада Ньютондық Механика аяқталған ғылым ретінде қарастырылады, өйткені Кез келген Ньютондық Мәселе үшін қозғалыс теңдеулері белгілі және мәселе осы теңдеулерді математикалық зерттеуге дейін азаяды. Жоғарыда айтылғандай, Ньютонға дейінгі аспан механикасы шын мәнінде таза эмпирикалық ғылым болды. Тіпті қазіргі уақытта аспан денелерінің қозғалысының таза эмпирикалық теорияларын тек бақылауларға сүйене отырып жасауға болады.*

***Кілт сөздер.** Білім алушы, аспан механикасы, классикалық механика, дайындық деңгейі*

20 ғасырдың бірінші жартысы аспан механикасы үшін салыстырмалы тоқырау кезеңі болды. Тек тамаша ерекшелік Сандманның 1912 жылы үш дене мәселесінің жалпы шешімін табуы болды. Тіпті Эйнштейннің (1915) жалпы салыстырмалылық теориясының дамуы сол кезеңдегі аспан механикасына айтарлықтай әсер еткен жоқ. Түбегейлі өзгерістер 20 ғасырдың ортасында басталды. Целестикалық механиканың жаңа жетістіктері жоғары дәлдіктегі бақылаулардың жаңа әдістерімен, компьютерлерді генерациялаумен, кеңістіктік динамиканың дамуымен және математика мен теориялық физикадағы жетістіктермен ынталандырылды.

Аспан механикасы бұрынғыға қарағанда әлдеқайда жан-жақты болды. Ол теориялық астрономия атағын жоғалтты (астрономия тек астрометриямен және оның бақылау және оретикалық бөліктерін білдіретін аспан механикасымен шектелген кездегі тарихи атау), бірақ физика мен математикамен тығыз байланысты болды. Шын мәнінде, 20 ғасырдың екінші жартысындағы аспан механикасы бір-бірімен байланысты төрт тақырып тобымен келесідей айналысты: (1) қозғалыс Физикасы, яғни аспан денелерінің қозғалысына әсер ететін күштердің физикалық табиғатын зерттеу және аспан механикасының спецификалық мәселесінің физикалық моделін тұжырымдау. Бұл саладағы соңғы мақсат-аспан денелерінің қозғалысы мен жарықтың таралуының дифференциалдық теңдеулерін шығару. Қазіргі заманғы циклдік механиканың негізінде жатқан жаһандық физикалық модель Эйнштейннің жалпы салыстырмалылық теориясы (ORY) болып табылады.

Бірақ мұндай теориялардың дәл еместігі және олардың жарамдылығының өте қысқа уақыт аралығы оларды ньютонның тартылыс заңымен ұштастыра отырып, Ньютондық Механика дамығаннан бері пайда болған қозғалыстың динамикалық теорияларымен салыстырғанда бәсекеге қабілетсіз етеді. Ньютонның негізгі планеталар мен Айдың қозғалысы туралы теориялары бақылаулармен жақсырақ келісу үшін енгізілген кейбір эмпирикалық терминдерді қоспағанда, таза динамикалық болды. Сонымен бірге физикалық гравитация заңының мәні белгісіз болып қалды. Гравитацияның мәні Тек Эйнштейннің жалпы салыстырмалылық теориясымен түсіндірілді. Содан бері аспан механикасы кең мағынада релятивистік сипатқа ие болды. Қазіргі уақытта негізгі планеталар мен Айдың ешқандай қосымша эмпирикалық терминдерсіз қозғалысының релятивистік теориялары бақылау деректерімен толық сәйкес келеді. Жоғарыда аталған сұрақты қосымша түрде жаңарту арқылы релятивистік аспан механикасының мақсатын Эйнштейннің жалпы салыстырмалылық теориясының өзі аспан денелерінің барлық байқалған қозғалыстарын түсіндіру үшін жеткілікті ме деген сұрақтың шешімі ретінде тұжырымдауға болады; (2)

қозғалыс Математикасы, яғни., аспан денелерінің қозғалысының дифференциалдық теңдеулерінің шешімдерінің математикалық сипаттамаларын зерттеу(шешімді бейнелеудің әртүрлі формалары, асимптотикалық мінез-құлық, тұрақтылық, конвергенция). және т. б.). Осы доменде аспан механикасының мәселесі жалпы шешім формасы мен қозғалыстың сапалы суреті белгілі болған жағдайда шешіледі деп саналады.

18-19 ғасырлардағы аспан механикасы математиканың классикалық салаларымен (математикалық анализ, жоғары алгебра, дифференциалдық теңдеулер, арнайы функциялар және т.б.) тығыз байланыста дамыды. Бастапқыда көптеген нәтижелер аспан механикасының нақты мәселелерін шешуде кейінірек таза математикалық нәтижелер ретінде жалпыланатын болды. Сол кезеңдегі көптеген математиктер аспан механикасына елеулі үлес қосты. Түйін, 18-19 ғасырлардағы аспан механикасы барлық жаратылыстану ғылымдарының ішінде ең математикаландырылған болды. Бірақ айқын артықшылықтармен қатар, мұндай ерте математикаландырудың кемшіліктері де болды. Атап айтқанда, классикалыққа негізделген жоғары дамыған әдістермен математика, 20 ғасырдың жаңа математикалық тенденциялары аспан механикасында бұрын жасалғандай тиімді түрде жүзеге асырылды.

Қозғалысты есептеу, яғни сандық сипаттамалардың нақты тежелуі motion. In көптеген жаратылыстану ғылымдары бұл пәннің ешқандай айырмашылығы жоқ және бөлек қарастырылмайды. Бұл соншалықты инцестиялды механика емес. Мысалы, кейбір мәселені көптеген айнымалылардың қуат/тригонометриялық қатарлары түрінде шешуге болатыны белгілі болса, онда мұндай қатардың қажетті терминдерінің санын нақты анықтау және оны қорытындылау терминдер саны жүзге дейін ауытқыған кезде маңызды мәселе емес. немесе тіпті мындаған. Аспан денелерінің ұзақ уақыт аралығындағы қозғалыс теңдеулерінің сандық интеграциясы да тривиальды мәселе емес. Аспан механикасының аналитикалық және сандық әдістері аспан механикасының тарихында үнемі жетілдіріліп отырды. Өз кезегінде, бұл математиканың көптеген салаларын (арнайы функциялар теориясы, сызықтық алгебра, дифференциалдық теңдеулер, жуықтау теориясы және т.б.) ынталандырушы болды.).

Аспан механикасы теңдеулерінің аналитикалық немесе сандық шешімдерін нақты есептеуге жарамды түрде ұсыну әрқашан тәуелсіз және күрделі міндет болды. Шынында да, аспан механикасының шешімдерінің дәлдігіне қойылатын талаптар әрқашан бар техникалық есептеу мүмкіндіктерінен озып тұрды. Сондықтан ординарлық дифференциалдық теңдеулерді сандық интеграциялаудың алғашқы жеткілікті дәл әдістері аспан механикасының есептерінде қолдану үшін ғана әзірленгені таңқаларлық емес (өте ұзақ уақыт аралықтарында жоғары дәлдіктегі интеграция). 20 ғасырдың екінші жартысында компьютерлік қондырғылардың пайда болуы аспан механикасының сандық және аналитикалық әдістерінде де революциялық өзгерістерге әкелді. Айта кету керек, аспан механикасында символдық (аналитикалық) опералық шығармаларды компьютермен орындайтын алғашқы (арнайы изирленген) жүйелер жасалған. Кейінірек символдық операциялар үшін қарапайым дифференциалдық теңдеулер мен эмбебап компьютерлік алгебралық жүйелерді (CAS) сандық интеграциялаудың эмбебап әдістері пайда болды. Осы жалпы бағдарламалық жасақтаманы аспан механикасы мәселелерінің ерекше ерекшеліктерімен үйлестіру өзекті міндетке айналды. Қалай болғанда да, бұл қондырғылар теріс әсер етуі мүмкін, егер қазіргі заманғы суперкомпьютерлер іс жүзінде шексіз ted жадымен және өңдеу жылдамдығымен мәселені шешуге тікелей көзқарас үшін пайдаланылса; (4) қозғалыс Астрономиясы, яғни белгілі бір аспан денесінің мәселесіне математикалық шешімді қолдану, бақылау нәтижелерімен салыстыру, қозғалыстың бастапқы мәндері мен параметрлерін анықтау және болашақ үшін қозғалысты алдын ала есептеу.

Теориялық (есептелген) және бақылау нәтижелерін салыстыра отырып, физикалық және математикалық модельдердің байқалған қозғалыс үлгісіне сәйкестігі туралы қорытынды жасауға болады. Егер бұл аде quасу қанағаттанарлықсыз болса, prob lem зерттеуі алдыңғы қадамдардың біріне оралады (физикалық модель мен математикалық шешімді жетілдіру). Астрономиялық бақылаулардың дәлдігінің артуы, сөзсіз, целестикалық

механиканың алға жылжуын ынталандыратын негізгі фактор болып табылады. Жоғары дәлдіктегі бақылауларды пайдалану аспан механикасының қолданбалы рөлін арттыра отырып, табиғи және жасанды аспан денелерінің қозғалысын есептеудің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Екінші жағынан, қозғалыстың есептелген және бақыланатын сипаттамалары арасындағы салыстыру аспан механикасының шеңберінен тыс қолданылатын физикалық модельдің жарамдылығын бағалауға мүмкіндік береді. Оның дамуының бүкіл кезеңінде аспан механикасының толықтығы туралы әңгіме болды. Бірақ бақылау дәлдігінің одан әрі артуы аспан үшін жаңа қиындықтарды ашқан сайын mechanics. In алғашқы үш тармақ, аспан механикасы әрекет етеді негізгі ғылым. Төртінші бөлімнің кейіпкері аспан механикасын қолданбалы ғылым ретінде қарастырады, дегенмен, сайып келгенде, төртінші бөлімнің зерттеулерінің нәтижелері (бақылаулармен келісу немесе келіспеу) жалпы аспан механикасының дамуы үшін өте маңызды. Аспан механикасы философиясының бұл классификациясы кәдімгі деп айтудың қажеті жоқ, бірақ тұтастай алғанда бұл 20 ғасырдың екінші жартысындағы аспан механикасына тән қасиет.

2.2. Ньютондық Аспан Механикасының құрамдас бөліктері жоғарыда айтылғандай, қазіргі аспан механикасы физикалық негізі үшін де, жоғары дәлдіктегі қолданбалары үшін де релятивистік болып табылады. Дегенмен, ол релятивистік аспан механикасының математикалық негізі ретінде Ньютондық аспан механикасының құндылығын ешбір жағдайда төмендетпейді. Ньютондық аспан механикасының өзара тәуелсіз құрамдас бөліктері төмендейтін ұғымдарға негізделген: (1) Абсолютті уақыт, яғни оның нақты өлшемінің эталондық жүйесінің бір мезгілде маятникі. Анықтамалық жүйені интуитивті түрде сағаттармен және кейбір құрылғылармен жабдықталған сызықтық кеңістіктік шамаларды (жергілікті физикалық анықтамалық жүйе) немесе алыстағы аспан объектілерінің фонындағы бұрыштық шамаларды (ғаламдық астро-номиналды анықтамалық жүйе) өлшейтін алабораториялық деп түсінуге болады. Осы тұжырымдама шеңберінде екі оқиға арасындағы уақыт аралығы кез келген анықтамалық жүйеде бірдей мәнге ие (уақыттың инварианттылығы). Қарапайым тілмен айтқанда, сағат жылдамдығы сағаттың қозғалыс жылдамдығына және оның аспан денелерінің гравитациялық өрісінде орналасуына байланысты емес; (2) үш өлшемді евклидтік геометриямен сипатталған абсолютті кеңістік.

Бұл кеңістіктің максималды біртектілігі (ерекше артықшылықты нүктелері жоқ) және максималды изотропиясы (ерекше артықшылықты бағыттары жоқ) бар. Атап айтқанда, екі нүкте арасындағы қашықтықтың нақты өлшемінің эталондық жүйесіне тәуелсіз бірдей мәнге (ұзындықтың инварианттылығына) ие. Қарапайым тілмен айтқанда, дененің сызықтық өлшемдері мен денелер арасындағы қашықтықтар денелердің қозғалу жылдамдығына және олардың орналасқан жеріндегі гравитациялық өріске байланысты емес; (3) Ньютон механикасы. Ньютон механикасының үш негізінің біріншісі-инерция заңы. Оның жарамдылығын қамтамасыз ететін анықтамалық жүйе инерциялық жүйе деп аталады. Берілген инерциялық жүйеге қатысты біркелкі және түзу сызықты қозғалатын кез келген тірек жүйесі де инерциялық болып табылады. Ньютон механикасының заңдары галилейдің салыстырмалылық принципіне сәйкес кез келген инерциялық жүйеде жарамды. Математикалық тұрғыдан бұл принцип Үш өлшемді Евклид кеңістігіндегі екі инерциялық жүйенің өзара байланысын сипаттайтын Галилеялық трансформация кезіндегі Ньютон механикасының теңдеулерінің (қарапайым дифференциалдық теңдеулер) инварианты ретінде көрінеді. Жоғарыда айтылғандар абсолютті уақыттың (біртектіліктің) және абсолюттік кеңістіктің (біртектіліктің де, изотропияның да) ерекшеліктерін инерциялық жүйелердің сипаттамаларын көрсетеді; (4) Ньютонның әмбебап тартылыс заңы. Математикалық тұрғыдан алғанда, бұл заң материалдық денелердің гравитациялық өрісін (Ньютон потенциалы) сипаттайтын ішінара туындылардағы (Пуассон теңдеуі) сызықтық теңдеудің шешімі ретінде тұжырымдалған. Дене қозғалысының ньютон теңдеулері (қарапайым дифференциалдық теңдеулер) және гравитациялық өрістердің теңдеулері (сызықтық теңдеулер ішінара туындылар) мүлдем тәуелсіз. Ньютонның әмбебап гравитация

заңы мен ньютондық Механиканың қозғалыс заңдарының абсолюттік уақыт пен абсолюттік кеңістік ұғымдары шеңберіндегі үйлесуі Ньютондықтардың мәнін анықтайды.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР.

1. Brumberg, V.A., Relativistic celestial mechanics on the verge of its 100 year anniversary (Brouwer Award lecture), *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, 2010, vol. 106, pp. 209–234.
2. Brumberg, V.A. and Ivanova, T.V., On constructing the general Earth's rotation theory, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, 2011, vol. 109, pp. 385–408 (PDF) *Celestial mechanics: Past, present, future*. Available from: https://www.researchgate.net/publication/260971462_Celestial_mechanics_Past_present_future [accessed Jan 20 2026].

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18607652>
УДК 621.78

НИКЕЛЬ АСОСЛИ ОЛОВБАРДОШ ҚОТИШМАНИНГ СТРУКТУРА ЎЗГАРИШИНИ ТАҲЛИЛИ

БЕРДИЕВ ДОРОБ МУРОТОВИЧ

Радиация ва ядро хавфсизлиги илмий-техник маркази, илмий котиб, техника фанлари доктори, профессор

LIANG ZHENGLONG

Lanzhou Texnologiya Universiteti (Хитой), кафедра мудир, техника фанлари доктори, профессор

ИБРОХИМОВА МУҚАДДАС МУҲАММАД СОБИР ҚИЗИ

И.Каримов номли Тошкент давлат техника университети, докторант

***Аннотация.** Тадқиқотда никель асосли Inconel 617 оловбардош қотишмасини қайта эритиш технологияларининг микроструктура ва нуқсонлар шаклланишига таъсири ўрганилган. Вакуумли индукцион печда эритиб тозалаш жараёни паст босимли муҳит ва электромагнит конвекция ҳисобига қотишманинг кимёвий бирхиллигини таъминлаши, шунингдек кислород, азот ва олтингугурт каби газли қўшимчаларни суюқ металлдан самарали чиқариши таҳлил қилинган.*

***Таянч иборалар:** Inconel, эритиш, газли қўшимчалар, қаттиқлик, суюқ металл, легирланган пўлат.*

Никел асосли оловбардош қотишмалар, Inconel номи билан кенг танилган бўлиб, аэрокосмик, кимё, нефть-газ ҳамда денгиз саноатида қўлланиладиган юқори самарали суперқотишмалар синфига киради. Ушбу қотишмаларнинг саноатда кенг тарқалиши, аввало, уларнинг юқори механик мустаҳкамликка эга бўлиши, яхши пайвандланувчанлиги, юқори ҳароратда термик барқарорлиги ҳамда агрессив муҳитларда, оксидланиш ва турли турдаги коррозия таъсирларига нисбатан юқори даражада чидамлилиги билан изоҳланади [1-4].

Кимё ва нефть-газ саноатида қўлланиладиган цилиндрсимон корпуслар, фланецли ҳалқалар, қувур ва коллектор шаклли деталлар эксплуатация жараёнида юқори ҳарорат, газ ёки суюқ агрессив муҳитлар таъсирида ишлайди. Бундай шарт-шароитларда деталларда тезлаштирилган емирилиш жараёнлари кузатилиб, уларнинг хизмат муддати сезиларли даражада қисқаради [5]. Шу боис мазкур турдаги деталларни Inconel 617 қотишмасидан тайёрлаш конструктив ва эксплуатацион жиҳатдан асосланган ечим ҳисобланади. Айниқса, газ турбина агрегатлари, иссиқлик алмаштиргичлар ва энергетик ускуналарда ушбу қотишмадан фойдаланиш кенг тарқалган [2-6].

Илгариги тадқиқотларда Inconel туридаги қотишмалардан тайёрланган деталларнинг юқори ҳароратли ва агрессив муҳитларда ишлаш қобилияти қуйидаги натижалар билан тасдиқланган [3-6]:

- 900-1100 °C ҳароратда ишловчи газ турбина лопаткаларининг хизмат муддати 2-4 баробарга ошган [3];

- ёниш камералари ва кимёвий реактор элементларининг газ коррозиясига чидамлилиги сезиларли даражада яхшиланган [4];

- азот ва аммиак ишлаб чиқариш ускуналарида клапанлар аварияларининг эҳтимоли камайган, иссиқлик алмаштиргич қувурлардаги тешилишлар сони 3-5 мартага қисқарган [5, 6].

Inconel 617 қотишмаси таркибидаги асосий легирловчи элементлар - хром, молибден ва ниобий - оксидловчи ва хлоридли муҳитларда питтинг ҳамда ёриқли коррозияга

чидамлиликни оширади. Бу ҳолат питтинг коррозияга қарши туришнинг эквивалент кўрсаткичи (PREN) қийматининг ортиши билан боғлиқ [5, 6].

Шунингдек, ниобий кўшимчаси доналар чегаралари бўйлаб хром ва молибден карбидларининг ажралиб чиқишини чеклаб, доналараро емирилишга мойилликни камайтиради [6]. Қотишманинг юқори мустаҳкамлик кўрсаткичлари эса никель матричасида ниобий ва молибденнинг қаттиқ эритма орқали мустаҳкамловчи таъсири ҳисобига таъминланган [7], суяқ металлни кальций билан модификациялаш оксид ва сульфид кўшимчаларни морфологиясини сезиларли даражада яхшилаган [8].

Юқори ҳароратда ишловчи қалин деворли корпуслар ва мураккаб шаклли қувур элементларини тайёрлашда вакуумда қуйма олиш технологияси қўлланилади. Мазкур усул қотишма структурасининг бирхиллигини таъминлаб, газ ғовақлари ва металлмас кўшимчалар ҳосил бўлиш эҳтимолини камайтиради [8]. Фланец ва ҳалқасимон деталлар эса, одатда, иссиқ ҳолатда штампланган орқали олиниб, кейинчалик механик ишлов берилади. Иссиқ деформация жараёнида доналарнинг оқим йўналиши бўйлаб шаклланиши деталларнинг чидамлилик ва мустаҳкамлигини оширади [9].

Мазкур ишда юқори ҳароратли ва агрессив муҳитларда ишлайдиган ускуналар деталларини Inconel қотишмасидан тайёрлаш техник ҳамда илмий жиҳатдан асосланган ечим сифатида таклиф этилган. Гарчи Inconel қотишмалари нисбатан қиммат ва уларга ишлов бериш технологик жиҳатдан мураккаб бўлса-да, конструкцион деталларнинг хизмат муддати ошиши, ишончилиги ва юқори эксплуатацион кўрсаткичлари умумий иқтисодий самарадорликни таъминлайди.

Тадқиқот объекти сифатида никель асосли оловбардош қотишма - Inconel 617 танланди. Ушбу қотишма юқори ҳароратда ишловчи конструкцион деталлар учун хос бўлган юқори механик мустаҳкамлик, коррозия ва иссиқликка чидамлилик хоссалари билан ажралиб туради [8]. Бироқ қотишма таркибида Cr, Mo ва Nb элементларининг юқори концентрасияси суяқ ҳолатда унинг газлар ва металлмас кўшимчаларга нисбатан юқори реакция қобилиятига эга бўлишига сабаб бўлади [9].

Эксплуатация жараёнида бундай кўшимчалар:

- юқори ҳароратда пластикликнинг пасайишига;
- мустаҳкамлик ва чидамлиликнинг камайишига;
- коррозион барқарорликнинг ёмонлашишига;
- гомоген бўлмаган дендритли структура шаклланишига олиб келади.

Қуйма усулда олинган заготовкларда газ ғовақлари, металлмас кўшимчалар, ликвация, дендритли мутадил бўлмаган структура ҳамда ёриқлар каби нуқсонлар шаклланиши мумкин. Мазкур нуқсонлар қотишманинг механик, коррозион ва эксплуатацион хоссаларини сезиларли даражада пасайтиради. Айниқса, ғовақликнинг юқори даражада бўлиши қуйманинг мустаҳкамлиги ва коррозиябардошлигига салбий таъсир кўрсатиб, ёриқлар ҳосил бўлиш эҳтимолини оширади. Илгари ўтказилган тадқиқотларда ўлчами 50 мкм дан катта бўлган ғовақлар мавжуд металл материалларда коррозиябардошлик пасайиши ва дарзлар пайдо бўлиш эҳтимоли ортиши аниқланган [8-10].

Шу сабабли юқори сифатли қуймалар олишда вакуумли индукцион эритиш, кальций билан модификациялаш ва электрошлакли қайта эритиш технологияларини қўллаш муҳим ҳисобланади. Мазкур ишда Inconel 617 қотишмасини ишлаб чиқаришда икки босқичли тозалаш технологияси – вакуумли индукцион печда эритиш (ВИПЭ) ва электрошлакли қайта эритиш (ЭШКЕ) - илмий ва амалий жиҳатдан мақсадга мувофиқ деб топилди.

Тадқиқотлар ўлчамлари $15 \times 15 \times 15$ мм³ бўлган кубик ҳамда диаметри 15 мм ва баландлиги 5 мм бўлган цилиндрик намуналарда амалга оширилди. Намуналарнинг кимёвий таркиби асосий легирловчи элементлар бўйича индуктив боғланган плазма (ICP) усулида, углерод миқдори эса инфракизил ютилишга асосланган LECO усули ёрдамида аниқланди [11-13].

Микроструктуривий тахлил учун намуналар кремний карбиди асосидаги шлифовка қоғозлари ёрдамида босқичма-босқич механик ишловдан ўтказилди ва 1 мкм ўлчамли олмос пастаси билан сайқалланди. Кўндаланг кесимлардаги газ ғоваклик ҳар бир намуна учун камида 15 та микрофотосурат тахлили асосида ImageJ дастури орқали баҳоланди. Оптик кузатишлар Keyence VHX-7100 микроскопида амалга оширилди [13].

Кенгайтирилган микроструктуривий тахлилда $\times 200$ катталаштиришда олинган микрофотосуратлар бутун кесим майдони бўйлаб бирлаштирилди. Намуналар Каллинг-2 реактиви билан кимёвий ишлов берилган ҳолда Zeiss EVO 50 сканирловчи электрон микроскопида тахлил қилинди [14].

ВИПЭ жараёнида индукцион ток таъсирида ҳосил бўладиган электромагнит кучлар суюқ металл ҳажмида интенсив конвекцияни юзага келтиради. Бу ҳолат диффузион жараёнларни жадаллаштириб, қотишманинг кимёвий таркиб бўйича бир хиллигини таъминлайди.

Inconel 617 қотишмасини ВИПЭ жараёни $\approx 1500-1550$ °C ҳарорат оралиғида ва $P = (1-5) \times 10^{-3}$ мбар вакуум шароитида амалга оширилди. Вакуум муҳит газларнинг парсиал босимини кескин камайтириб, кислород ва азотнинг эритмадан чиқиб кетишини фаоллаштиради ҳамда металлмас қўшимчаларнинг шлакка ўтишини таъминлайди.

Никел асосли қотишмани комплекс тозалаш мақсадида кальций модификатор сифатида қўлланилди. Кальций юқори кимёвий актив элемент бўлиб, кислород ва олтингугурт билан барқарор бирикмалар ҳосил қилади ҳамда металлмас қўшимчаларни модификациялайди. Тажриба натижаларига кўра, энг самарали тозаланиш $C_a = 0,03-0,04$ оғир.% оралиғида кузатилди. Қўшимча киритилгандан сўнг эритма 10-25 дақиқа ушлаб турилди.

Кальцийнинг кислордан тозалаш - деоксидловчи таъсири қуйидаги реакция билан ифодаланади:



Мувоzanат концентантаси:

$$K_{CaO} = \frac{a_{CaO}}{a_{Ca} \times a_O}, \quad (2)$$

бу ерда:

a_{CaO} - кальций оксидининг активлиги,

a_{Ca} - кальцийнинг металлдаги активлиги,

a_O - кислороднинг активлиги.

Қаттиқ ҳолдаги CaO учун активлик қиймати одатда: $a_{CaO} \approx 1$ тенг деб қабул қилинган.

Суюқ металлда кальций ва кислород активликлари эса қуйидагича ифодаланади:

$$a_{Ca} = f_{Ca} [\%O], \quad (3)$$

Бу ерда f_{Ca} ва O_f - тегишли элементларнинг активлик коэффициентлари бўлиб, улар металл муҳитининг таркибига боғлиқ ҳолда ўзгаради.

Шунда мувоzanат тенгламаси қуйидаги ифодалаш мумин:

$$K_{CaO} = \frac{1}{f_{Ca} [\%Ca] f_O [\%O]}. \quad (4)$$

Ушбу ифодадан кўриниб турибдики, кальций миқдори ортиши билан кислороднинг мувоzanат концентрацияси кескин камаяди. Бу кальцийнинг жуда кучли деоксидловчи элемент эканини тасдиқлайди.

Тадқиқотда кальций тўғридан-тўғри соф ҳолатда эмас, балки Ca-Al мастерқотишмалари кўринишида киритилди. Бу усул кальций миқдорини аниқ назорат қилиш, унинг буғланиш орқали йўқолишини чеклаш ҳамда тигел материаллари билан нохуш реакцияга киришиш хавфини камайтириш имконини берди:



Ушбу реакциялар натижасида юқори эрилиш ҳароратига эга бўлган ўткир киррalli алюминий оксид киритмалари шарсимон шаклга эга, паст эриувчан кальций алюминатларга айланади. Бу эса металлмас қўшимчаларнинг зарарли таъсирини сезиларли даражада камайтириш имконини беради.

ВИПЭда тозаланган ва кальций билан модификацияланган Inconel 617 қотишмасидан сифатли қуймалар олиш мақсадида ЭШҚЕ жараёни амалга оширилди. ЭШҚЕ жараёни $I = 3-8$ kA ток қийматида, қайта эритиш тезлиги $v = 2-6$ мм/мин шароитида олиб борилди.

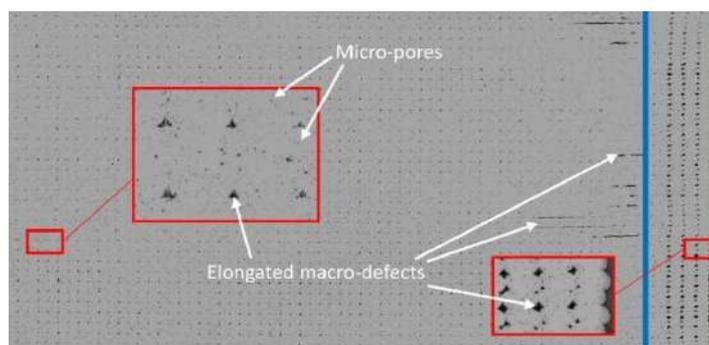
Шлак сифатида $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ тизимидаги таркиб қўлланилди (55-65 % CaF_2 , 15-25 % CaO , 10-20 % Al_2O_3), бу шлакнинг оптимал қовушқоқлигини таъминлаб, оксид ва сульфид киритмаларни самарали боғлаш имконини берди. Шлак ваннаси ҳарорати 1550-1650 °C, металлнинг ишчи ҳарорати эса 1450-1550 °C оралиғида ушлаб турилди [11].

ЭШҚЭ жараёнида шлак ваннасининг ҳарорати металл ҳароратидан юқори бўлиб, 1550-1650 °C атрофида сақланди ва асосан металлмас қўшимчаларни боғлаш функциясини бажарди. Эритманинг шлак остидаги ишчи ҳарорати эса 1450-1550 °C диапазонида ушлаб турилиб, бу Inconel 617 (Ni-Cr-Mo-Nb) қотишмасининг суюқланиш интервалига мос ҳолда барқарор қайта кристалланиш таъминланди [15].

Қайта эритиш натижасида қолдиқ металлмас қўшимчалар шлакка ўтиб, қотишманинг кимёвий таркиби сақланди ва йўналтирилган дендритли структура шаклланди. Бу қуйманинг механик хоссаларининг барқарорлигини оширди.

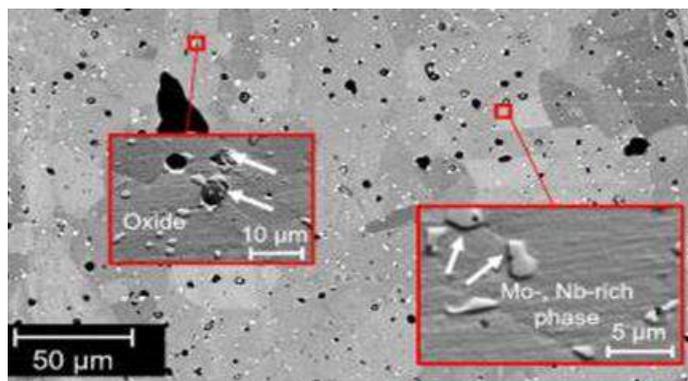
ВИПЭ, кальций билан модификациялаш ва ЭШҚЭ ни бирлаштирган комплекс технология Inconel 617 қотишмасини газли ва металлмас қўшимчалардан самарали тозалаш, структура бирхиллигини таъминлаш ва эксплуатацион хоссаларини барқарорлаштириш имконини беради. Мазкур ёндашув юқори ишончли иссиқбардош деталлар ишлаб чиқариш учун илмий ва технологик жиҳатдан мақсадга мувофиқ ҳисобланади.

Inconel 617 қотишмасини ВИПЭ + Ca + ЭШҚЭ комплекс технологияси орқали олинган қуйма заготовклар таркибидаги газ ғовак нуқсони ўрганилди (2-расм). Кўндаланг кесим таҳлили натижасида ғовакларнинг икки асосий тури аниқланди: кўндаланг кесим бўйлаб тасодифий тарқалган микропорлар ҳамда марказий зонада учбурчаксимон, контур зонада эса тўртбурчаксимон геометрияга эга бўлган, решеткасимон тузилмада жойлашган чўзилган макродефектлар. Таҳлил натижаларига кўра, ўлчами 50 мкм дан катта ғоваклар улуши сезиларли эмас бўлиб, умумий газ ғоваклик даражаси 5-6 % ни ташкил этди.

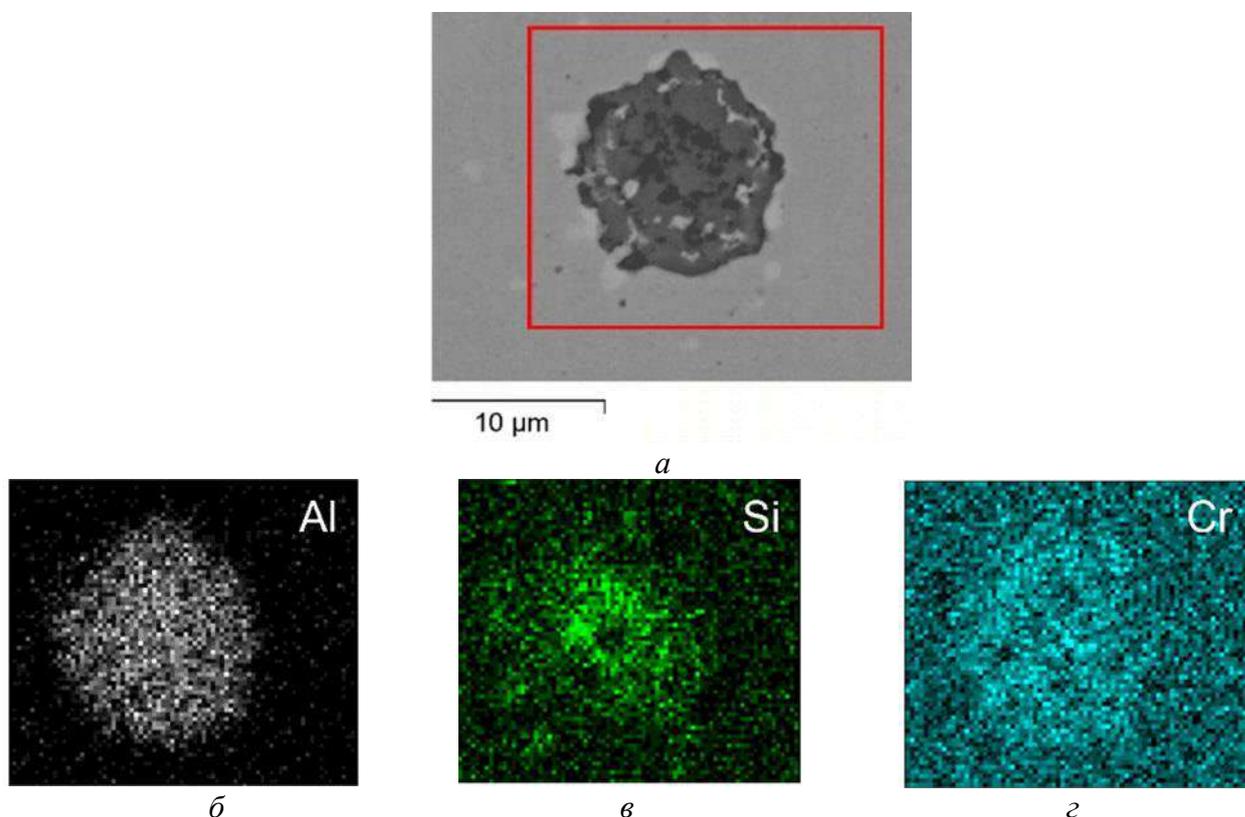


1-расм. Қуйма заготовклар таркибидаги газ ғовак ҳолати

Қуйма ҳолатидаги намуналарнинг микроструктураси никел асосли матрицада дендритли тузилма ва интердендрит худудларда жойлашган иккламчи фазалар мавжудлиги билан тавсифланади (2-расм). Матрица фонида турли шакл ва ўлчамдаги металлмас қўшимчалар тарқалгани кузатилди. Микроструктура таҳлилида икки хил характерли худуд ажратилди: биринчисида нотекис шаклга эга, қора рангли оксид заррачалари мавжуд бўлиб, улар механик хоссаларни пасайтириши, маҳаллий мўртлик манбаи ва ёриқлар бошланиш нуқтаси бўлиши мумкин; иккинчисида эса пластинкасимон ёки игнасимон шаклдаги, молибден ва ниобийга тўйинган иккламчи фазалар аниқланди. Ушбу фазалар интердендрит худудларда шаклланиб, интерметаллид ёки карбид-силицид хоссасига эга бўлиши мумкин.



2-расм. Inconel 617 қотишмаси қуйма усулда олинган намуналарни микроструктураси
Оксидли қўшимчалар таҳлили (3-расм) уларнинг кўп фазали, гетероген ички тузилишга эга эканини кўрсатди. Элемент хариталари ушбу зарраларда Al, Si, Cr, Mo ва Nb элементларининг юқори концентрацияда жамланганини тасдиқлади. Al ва O элементларининг бир вақтда мавжудлиги Al_2O_3 асосли ёки мураккаб оксид фазалар шаклланганини, Si концентрациясининг юқорилиги эса силицид ёки оксид-силикат комплекслар эҳтимолини кўрсатади. Cr элементнинг тарқалиши зарра ва матрица ўртасида диффузион ўзаро таъсир мавжудлигини аңлатади.



3-расм. Inconel 617 қотишмаси қуйма усулда олинган намуналар таркибидаги оксидли қўшимчалар

3-расм, *a* қизил тўртбурчак билан белгиланган объектда ноқонуний шаклга эга, кўп фазали ва ички тузилиши гетероген бўлган зарралар борлиги аниқланди. Ушбу зарра Ni-асосли матрицага кирмайдиган, Mo-Nb-Si-Al-O элементлари билан бойитилган мураккаб оксид-интерметаллид қўшимчалар дейиш мумкин. Бундай қўшимчалар бир жойда жамланиши қотишмада қуйдаги нуқсонларни ҳосил бўлишига асос бўлади:

- маҳаллий қаттиқликни ошириши;
- ёриқ бошланиш нуқтаси бўлиши мумкин;

- қотишмани зарбга чидамлилигини пасайтириши мумкин.

Бундай ҳолатлар қотишма олишни технологик режимлар (эритиш муҳити, атмосфера, сепиш ёки қотиш шароити) билан чамбарчас боғлиқдир.

Al элемент харитасида алюминий ҳам зарра ичида мавжуд экани кузатилади (3-расм, б). Al + O комбинацияси Al_2O_3 асосли оксид инклюзия ёки мураккаб оксид фазанинг эҳтимолини кўрсатади.

Si харитасида элементнинг асосан зарра марказида юқори концентрацияда экани кўринади (3-расм, в). Бу ҳолат зарра таркибида силицийли фазалар (масалан, силицидлар ёки оксид-силикат комплекслар) мавжуд бўлиш эҳтимолини оширади.

Cr тақсимоти нисбатан бир маромда, аммо зарра атрофида маълум даражада концентрация ўзгариши кузатилади (3-расм, г). Бу ҳолат зарра ва матрица ўртасида диффузион ўзаро таъсир мавжудлигини англатади.

XULOSA

1. Микроструктуравий таҳлил натижалари Inconel 617 қотишмасида элементларнинг фазовий жиҳатдан нотекис тақсимланиши, иккламчи фазалар ва оксидли қўшимчалар шаклланиши кузатилишини кўрсатади. Мазкур ҳолатлар қуйма олишнинг технологик режимлари ва тозалаш жараёнлари билан бевосита боғлиқ бўлиб, уларни оптималлаштириш қотишманинг эксплуатацион хоссаларини яхшилашда ҳал қилувчи аҳамиятга эга.

2. Кальций билан модификациялаш оксид ва сульфид қўшимчаларни морфологиясини яхшилаб, уларнинг зарарли таъсирини сезиларли даражада камайтиради, оптимал Ca миқдори 0,03-0,04 оғир.% этиб аниқланди.

3. Электрошлакли қайта эритиш қолдиқ қўшимчаларни самарали тозалашга, йўналтирилган дендритли структура шаклланишига ва қуйманинг механик хоссаларини барқарорлаштиришга хизмат қилади.

4. ВИПЭ + Ca + ЭШҚЕ комплекс технологияси қўлланилган ҳолда олинган қуйма заготовкларда ўлчами 50 мкм дан катта бўлган хавфли ғоваклар аниқланмади, иккиламчи фазаларнинг ҳажмий улуши эса чекланган даражада сақланди.

АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. Donachie M.J., Donachie S.J. Superalloy-Retrospect and Future Prospects. A Technical Guide. ASM, 2002. pp. 339-351.
2. Reed R.C. The Superalloys: Fundamentals and Applications. Cambridge Univ. Press, 2006. 372 p.
3. Glicksman M.E. Principles of Solidification. Springer, 2011. 345 p.
4. Thomas D., Gleadall A. Advanced metal transfer additive manufacturing of high temperature turbine blades // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 121, 2022, pp. 639–654.
5. Thompson Y., Zissel K., Förner A., Körner C. Metal fused filament fabrication of the nickel-base superalloy IN 718 // Journal of Materials Engineering and Performance. Vol. 31, 2022, pp. 6641–6653.
6. Lu Z., Ayeni O.I., Yang X., Park H.Y., Jung Y.G. Microstructure and phase analysis of 3D-printed components using bronze metal filament // Journal of Materials Engineering and Performance. Vol. 29, 2020, pp. 5751–5762.
7. Ramazani H., Kami A. Metal FDM, a new extrusion-based additive manufacturing technology for manufacturing of metallic parts: a review // Progress in Additive Manufacturing. Vol. 7, 2022, pp. 75–98.
8. Carrozza A., Mazzucato F., Aversa A., Reischle M., Calignano F., Manfredi D., Fino P., Ambrosio E.P. Single scans of Ti-6Al-4V by directed energy deposition: a cost and time effective methodology to assess the proper process window // Metals and Materials International. Vol. 27, 2021, pp. 1655–1666.
9. Cabrini M., Carrozza A., Lorenzi S., Pastore T., Manfredi D., Fino P. Influence of surface finishing and heat treatments on the corrosion resistance of LPBF-produced Ti-6Al-4V alloy for biomedical applications // Journal of Materials Research and Technology. Vol. 18, 2022, pp. 2401–2414.
10. Khorasani A.M., Gibson I., Veetil J.K., Ghasemi A.H. A review of technological improvements in laser-based powder bed fusion of metal printers // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 108, 2020, pp. 191–209.
11. Gao Y., Ding Y., Chen J., Xu J., Ma Y., Wang X. Effect of twin boundaries on the microstructure and mechanical properties of Inconel 625 alloy // Materials Science and Engineering: A. Vol. 742, 2019. pp. 501–512.
12. Shuai Wang, Xueyu Liao, Zhibin Zheng, Jun Long, Maolin Shen, Weixin Chen, et al. Exploring the hardness-independent wear behavior of typical wear-resistant materials under dynamic and static conditions. J Mater Res Technol. 2024. 33. pp. 6798-6809.
13. Berdiev D.M., Konstantinov V.M. Increasing the Wear Resistance of Engineering Parts Using Thermal Cycling Treatment. Advances in Transdisciplinary Engineering. 2024. 58. 243–249.
14. Berdiev D.M., Yusupov A.A. Improving the Wear Resistance of High-Precision Dies. Russ. Eng. Res. 2024. 44(11). Pp. 1553–1555.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18607731>
УДК 621.311

6-35 кВ ЭЛЕКТР ТОРАПТАРЫНДА АСҚЫН КЕРНЕУДЕН ҚОРҒАНУДЫҢ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

КЕҢЕСБАЙ БЕКНҮР АМАНГЕЛДІҰЛЫ

«Электроэнергетикалық жүйелер» БББ
«Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ» КЕАҚ
Алматы қ., ҚР

КАЛИЕВА КАЗИМА ЖАНБЫРБАЕВНА

т.ғ.к., қауымдастырылған профессор,
«Ғ. Дәукеев атындағы АЭЖБУ» КЕАҚ
Алматы қ., ҚР

***Аннотация:** Мақалада 6–35 кВ орта кернеулі электр тораптарында асқын кернеулердің пайда болу механизмдері, олардың жабдыққа әсері және қазіргі заманғы қорғау әдістері қарастырылған. Найзағайлық, коммутациялық және резонанстық асқын кернеулердің амплитудалық, уақыттық сипаттамалары зерттеліп, олардың трансформаторларға, кабельдік желілерге, тарату құрылғыларына әсері бағаланған. Дәстүрлі және заманауи қорғау әдістерінің салыстырмалы тиімділігі көрсетілген, оның ішінде металлооксидтік кернеу шектегіштер (ZnO), RC-демпферлер, гибриді бейтарап жерге қосу схемалары, сандық адаптивті релелік қорғаныс қарастырылған.*

***Кілт сөздер:** 6–35 кВ электр тораптары, асқын кернеулер, коммутациялық кернеулер, асқын кернеуден қорғау, металлооксидтік кернеу шектегіштер, тораптардың сенімділігі.*

6–35 кВ кернеулі электр тораптары тарату деңгейіндегі энергетикалық жүйелердің негізгі құрамдас бөлігі саналады және өнеркәсіптік кәсіпорындар, инфрақұрылымдық объектілер, коммуналдық қызметтерге электр энергиясын жеткізуді қамтамасыз етеді. Осы тораптардың сенімділігі, ең алдымен, жабдықтың асқын кернеулерге төзімділігімен анықталады, олар жабдықтың істен шығуы мен ұзақ уақыттық электр энергиясынан айырылудың негізгі себептерінің біріне жатады. EU Joint Research Centre мәліметтері бойынша, орта кернеулі тораптардағы жабдықтың 30–40% найзағайлық және коммутациялық асқын кернеулердің әсерінен істен шығады. Тікелей найзағай соққысының әсерінен пайда болатын импульстік асқын кернеудің фронты 1–5 мкс құрайды, желінің ұзындығы мен жерге қосу параметрлеріне байланысты жабдықтағы кернеу 200–400 кВ-ға дейін жетуі мүмкін. Коммутациялық асқын кернеулер амплитудасы төмен болғанымен, олардың ұзақтығы жоғары, кабельдер мен трансформаторлар оқшаулауының термиялық, электрлік жүктемесіне елеулі әсерін тигізеді. Әсіресе 30-40 жылдан астам пайдаланылған полимерлі оқшаулағыштар үшін маңызды.

Қазіргі уақытта тарату желілерінде генерацияның өсуі, электроникалық қуат түрлендіргіштерін (SST) және цифрлық қорғау жүйелерін енгізу асқын кернеулердің жаңа сценарийлерін туғызады. VSC-инверторлар мен SST қосымшалары коммутациялық өтпелі процестерді жиілетеді, найзағайлық және резонанстық асқын кернеулермен бірігіп, жабдыққа қосымша импульстік кернеу жүктемесін жасайды. Осыған байланысты 6-35 кВ тораптарында қорғауды кешенді қарастыру, оқшаулау координациясын қамтамасыз ету, амплитуданы нормативтік деңгейге дейін төмендету маңызды болып табылады.

Зерттеу мақсаты 6–35 кВ тораптардағы асқын кернеуден қорғаудың дәстүрлі, инновациялық әдістерін жүйелі талдау, тиімділігін бағалау және халықаралық стандарттарға сәйкес келуін анықтау.

Әдеби шолу барысында асқын кернеудің амплитудалық және уақыттық сипаттамалары,

қорғау құрылғыларының көрсеткіштері және авариялық статистикасы талданды.

Есептеу бөлімінде MATLAB/Simulink моделдері қолданылып, желі, трансформатор және кернеу шектегіштерінің эквиваленттік схемалары арқылы импульстік кернеулердің таралу динамикасы, жабдықтағы қалдық кернеулер анықталған. Қорғау тиімділігін бағалау үшін дәстүрлі ұшқынды разрядниктер, RC-демпферлер, металлооксидтік ZnO шектегіштер, гибриді жерге қосу схемалары, сандық адаптивті реле қолданылды.

6–35 кВ тораптарда үш негізгі типтегі асқын кернеулер анықталды: найзағайлық, коммутациялық және резонанстық. Найзағайлық асқын кернеулер тікелей найзағай соққысы немесе индукциялық әсерден пайда болып, амплитудасы 1–2 МВ жетеді, жабдықтарда 200–400 кВ тіркеледі, фронт ұзақтығы 1–5 мкс. Коммутациялық асқын кернеулер 2–3,5 п.у. шамасында, бірақ ұзақтығы үлкен, ескі изоляциядағы кабельдер мен трансформаторларға теріс әсер етеді. Резонанстық және феррорезонанстық процестер нейтрал ашық болғанда, ұзын ауа сызықтарының индуктивті әсерінен туындайды, 2–2,5 п.у. дейін жетіп, жабдыққа қосымша жүктеме тудырады.

Салыстырмалы талдау көрсеткендей, дәстүрлі ұшқын разрядниктерде тесерлік кернеу тұрақсыз, жабдыққа қалдық кернеу 15–25% артық болуы мүмкін. Металлооксидтік ZnO шектегіштері қалдық кернеуді 1,8–2,2 п.у.-ге дейін төмендетіп, оқшаулау координациясын қамтамасыз етеді. RC-демпферлер және гибриді жерге қосу схемалары амплитуданы 25–40% төмендетеді, әсіресе найзағайлы аймақтарда. Сандық адаптивті реле және оқшаулау мониторингісі арқылы асқын кернеулерді болжау, активті басқару мүмкіндігі қамтамасыз етіледі, пайдалану барысының алғашқы жылдарында апаттық жағдайлардың болу ықтималдылығын 20–30% төмендетеді.

Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, 6–35 кВ желілерін модернизациялауда ZnO шектегіштеріне көшу маңызды. Дегенмен, тиімділік тек құрылғының түріне ғана емес, сонымен қатар оның желіде дұрыс орналасуына, трансформаторлардың кірісін, кабельдік желілер мен тарату түйіндерін қорғауына байланысты. Кешенді тәсіл ретінде заманауи шектегіштерді, оңтайландырылған жерге қосу схемаларын, оқшаулау координациясын біріктіру, жабдықтың зақымдалу қауіпін азайтуға мүмкіндік береді. Ескі желілерде жабдықтың тозуын ескере отырып, рұқсат етілген асқын кернеу деңгейін түзету қажет, EU JRC зерттеулері осы аспектіні айқындап көрсеткен.

Асқын кернеуден қорғау динамикалық жүйе ретінде қарастырылуы тиіс, оның параметрлері эксплуатациялық деректер мен ғылыми ұсыныстар негізінде үнемі қайта қарастырылып отыруы қажет. Сандық қосарланған подстанциялар (Digital Twin) арқылы модельдеу және алдын ала болжау желілердің сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Нәтижесінде асқын кернеулер 6–35 кВ тораптардың сенімділігіне маңызды әсер ететініне көз жеткіздік. Найзағайлық және коммутациялық кернеулер жабдыққа кернеу нормаларын асырып, эксплуатациялық шығындарды арттырады. Металлооксидтік шектегіштерді, RC-демпферлерді, гибриді жерге қосу схемаларын және сандық адаптивті релені қолдану апаттық жағдайларды 20–30% төмендетуге мүмкіндік береді. IEC және IEEE стандарттарын жаңарту, сондай-ақ цифрлық қосарланған подстанциялар моделін енгізу арқылы қорғауды оңтайландыру, желілердің ұзақ мерзімді сенімділігін қамтамасыз етуге, жабдық қызметін ұзартуға және асқын кернеулердің әсерін азайтуға мүмкіндік береді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ:

1. IEEE Power & Energy Society. (2012). IEEE Standard 738-2012: Standard for Calculating the Current–Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors. IEEE Standards Association.
2. KEGOC JSC. (2023). Annual Report 2023. Nur-Sultan: Kazakhstan Electricity Grid Operating Company.
3. KEGOC JSC. (2022). Technical Policy and Reliability Indicators of Power Networks. Corporate Technical Report.
4. International Electrotechnical Commission (IEC). (2014). IEC 60071-1: Insulation coordination – Part 1: Definitions, principles and rules. Geneva: IEC.
5. Mousa, A. M. (2010). Lightning Protection of Overhead Power Distribution Lines. London: IET Power and Energy Series.
6. He, J., Zeng, R., & Zhang, B. (2015). Analysis of lightning-induced overvoltages in medium-voltage distribution networks. *Electric Power Systems Research*, 120, 1–8
7. Shafikov, I., & Kuznetsov, V. (2019). Reliability improvement of medium voltage networks through surge protection optimization. *Electrical Technology Russia*, 6, 22–29.
8. Markovskiy, A. (2021). Overvoltage protection and insulation coordination in 6–35 kV distribution grids. *Energy Policy Journal*, 24(2), 45–60.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18607814>

RADIOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE DISTRIBUTION OF NATURAL RADIONUCLIDES IN THE SOIL COVER OF THE NORTEASTERN REGION OF AZERBAIJAN

S.G. KHASAYEVA

Ministry of Science and Education of Azerbaijan,
Institute of Physics

CH.G.GULALIYEV

Ministry of Science and Education of Azerbaijan,
Institute of Geography named after H.Aliyev

E.I.MEHTIYEV

Ministry of Science and Education of Azerbaijan,
Institute of Physics

Abstract: *This article presents the results of studies on the distribution of natural radioisotopes in soil samples taken from northeastern region of Azerbaijan, their relationship with geochemical indicators and their radioecological assessment. The aim of the study was to determine the mechanisms of behavior of radionuclides in regions with different geological and lithological conditions and to assess the level of radiological safety of soils. Chemical analysis of soil samples shows that the content of sulfates, chlorides, Ca-carbonates, Na and K, as well as the ratio of Fe/Mn elements has significant variability across areas. These parameters are the main geochemical indicators, which directly affects the migration, sedimentation and immobilization level of radioisotopes in the soil. According to the table data, sulfates and Ca-carbonates are at the highest level in the Shabran region, which creates conditions for more stable retention of Sr isotopes in the immobile phase. The high level of chlorides in the Khizi district may cause Na²² and other radionuclides to move more actively in the form of ion complexes. The soil samples taken from Siyazan district exhibit more balanced amounts of Na, K, and Ca-carbonates, creating intermediate geochemical conditions. The concentrations of natural radionuclides (¹¹Na²², ¹⁹K⁴⁰, ³⁸Sr⁹¹, and ⁹⁰Th²²⁸) correspond to background levels and no radiological dangerous concentrations were detected across all study sites. The conducted research confirms that the distribution of radionuclides in the soil is a multifactorial process, and geochemical parameters play a key role in maintaining their stability. The results of research show that the chemical content of soil samples taken from northeastern regions of Azerbaijan are safe from a ecological point of view and the current radionuclide levels do not pose a risk to the ecosystem. These results are reliable scientific basis for future stages of radioecological monitoring in the region.*

Keywords: *soil, natural radionuclides, Na²², K⁴⁰, Sr⁹¹, Th²²⁸, northeastern region of Azerbaijan.*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО РЕГИОНА АЗЕРБАЙДЖАНА

С.Г. ХАСАЕВА

Министерство науки и образования Республики Азербайджан,
Институт Физики

Ч.Г. ГЮЛАЛИЛЕВ

Министерство науки и образования Республики Азербайджан Институт географии
имени академика Г. Алиева, Баку, Азербайджан

Е.И. МЕХТИЕВ

Министерство науки и образования Республики Азербайджан,
Институт Физики

Резюме: В данной статье представлены результаты исследований, проведённых почвенных образцов, отобранных в северо-восточном регионе Азербайджана, с целью оценки распределения природных радионуклидов — ^{22}Na , ^{40}K , ^{91}Sr и ^{228}Th , их геохимических корреляций и радиоэкологического состояния исследуемых территорий. Цель работы заключалась в выявлении особенностей миграции радионуклидов в различных геолого-литологических условиях и определении уровня радиационной безопасности почв. Химический анализ образцов показал существенные различия в содержании сульфатов, хлоридов, Са-карбонатов, натрия, калия, а также в соотношении Fe/Mn, что непосредственно влияет на миграцию, осаждение и степень иммобилизации радионуклидов. В Шабранском районе зафиксировано наибольшее количество сульфатов и Са-карбонатов, что способствует более устойчивой фиксации стронция (Sr-91) в карбонатной фазе. В Хызы отмечены повышенные концентрации хлоридов, способствующие образованию ионных комплексов Na-22 и повышению их подвижности. В Сиазани более сбалансированное содержание Na, K и Са-карбонатов формирует средние геохимические условия. Во всех районах концентрации исследуемых радионуклидов соответствуют естественному фоновому уровню, превышения санитарных норм не выявлено. Проведённые исследования подтверждают, что распределение радионуклидов в почвенной среде является многофакторным процессом, а геохимические свойства почв играют ключевую роль в стабилизации радионуклидов. Почвы северо-восточного региона Азербайджана являются экологически безопасными, а выявленные уровни радионуклидов не представляют угрозы для экосистемы. Полученные данные формируют надёжную научную основу для дальнейшего радиоэкологического мониторинга региона.

Ключевые слова: почва, природные радионуклиды, Na^{22} , K^{40} , Sr^{91} , Th^{228} , северо-восточный регион Азербайджана.

INTRODUCTION

The distribution of natural radionuclides in ecosystems and their migration characteristics play an important role in assessing the radioecological state of the environment. The most widespread natural radioisotopes such as Na^{22} , ^{40}K , ^{91}Sr and ^{228}Th are found depending on the geochemical properties of the soil and aquatic environment in different concentrations. These radionuclides are sensitive to oxidation-reduction processes, ion exchange properties, soil structure and mineralization level. Soil cover of norteastern regions of Azerbaijan are considered suitable for comparative study of radionuclide distribution characteristics, as they differ from each other in terms of geological structure, soil types and climatic conditions. The aim of the article is to assess the activity levels of natural radionuclides in soil samples taken from these regions and to determine their relationship with chemical composition indicators. Studying the behavior of radioisotopes in soil systems is one of the main directions of radioecology, and numerous studies conducted in this field show that the distribution of natural radionuclides in the soil profile is formed under the influence of both geochemical and anthropogenic factors. The amount of natural radionuclides (Na^{22} , K^{40} , Sr^{91} , Th^{228}) in soil is closely related to soil mineralogy, ion exchange capacity, carbonation degree, pH indicator, organic matter content and moisture regime [1-3].

The ^{40}K is found in higher concentrations in the clay fraction of soil. It is one of the main radioactive isotope of potassium and important component of the natural radioactive background

and. The amount of K^{40} isotope in plant systems and soil depends on the mineralogical composition and sorption properties of the soil [2].

The distribution of K^{40} is an important part of the natural geochemical cycle and is more stable to anthropogenic influences [4-6].

Strontium isotopes, especially Sr^{91} , are related to the amount of Ca-carbonates in soils and tend to accumulate in the carbonate phase, acting as calcium [7-9].

The migration of strontium in the soil is regulated by the amount of carbonates, the ionic strength, and the degree of anthropogenic contamination of the soil. The behavior of Sr isotopes is explained often by the Ca-Sr isomorphism [8].

Isotopes of the Thorium, including Th^{228} , are found in higher concentrations mainly in heavy minerals - monazite, thorite, etc. The behavior of thorium in soil is closely related to chemical weathering, degree of oxidation, and mineralogical structure [6-8]. Also, the transport of Th to the upper layers of the soil is enhanced by erosion processes and mechanical decomposition.

The behavior of the Na^{22} isotope in the soil-suspension system depends on the ionic strength of the medium and especially the amount of chlorides. Na^{22} is located in more stable complex forms in systems with high chlorides and is retained in the soil for a longer time [2, 3]. Radiolysis processes can also affect the chemical transformations of radionuclides in the soil [4-6].

Nitrogen compounds of soil - particularly NO_3 and NO_2 - regulate the valence and mobility of radionuclides by altering their oxidation-reduction conditions [9]. These processes may lead to the immobilization or remobilization of radionuclides in the upper soil layers [2, 4, 10].

Numerous studies show that, anthropogenic influences (industrial emissions, atmospheric deposition, agricultural activities) in addition to soil geochemical properties have a significant impact on the amount of radionuclides [2, 4, 5]. The increase in nitrate and other pollutants in drinking water has an indirect impact on radionuclide migration [4].

Studies of Caspian region confirm that the uneven distribution of radionuclides in the soil profile is related to both climatic factors and geomorphological conditions. Atmospheric dust, erosion caused by wind and water play an important role in the transport of radionuclides from one zone to another [6, 7].

Thus, the analysis of existing scientific sources shows that the behavior of radionuclides in the soil is a multifactorial process and may vary depending on the geochemical conditions of each region. In this regard, radioecological studies of northeastern regions of Azerbaijan are of great importance for assessing the ecological safety of the region.

RESEARCH OBJECT

The object of the study is soil samples taken from soil cover of various landscape and soil-geochemical zones of northeastern regions of Azerbaijan (Khizi, Siyazan, Shabran districts). These territories are considered suitable model areas for studying the distribution of natural radioisotopes ($^{11}Na^{22}$, $^{19}K^{40}$, $^{38}Sr^{91}$ and $^{90}Th^{228}$) in the soil profile, as they have the different geomorphological structure, lithological composition and degree of anthropogenic loading.

The territory of district Khizi is characterized mainly by foothill and semi-desert landscapes, the predominance of gravel-clay rocks affects the sorption capacity of radionuclides. The area of Siyazan district is rich in deluvial and alluvial deposits representing the northeastern slope of the Caucasus, the variability of the mineral composition plays an important role in the chemical behavior of radioisotopes. The territory of Shabran district is characterized by a high share of carbonates and saline layers in its soils due to its location close to the Caspian plains, which directly affects the mechanisms of accumulation of Sr and Th isotopes in the soil.

The diversity of soil-forming factors - climate, relief, host rock, and anthropogenic activity - in all three areas has different effects on the migration and immobilization of radionuclides in the environment. The collected soil samples were taken from different depths and their chemical parameters (sulfates, chlorides, Ca-carbonates, Fe:Mn ratio, etc.) were studied in comparison with the distribution of radioisotopes.

These features make the Khizi–Siyazan–Shabran three neighboring territories particularly important as a representative research object for studying the migration of natural radioisotopes and their behavior mechanisms in soil systems.

RESEARCH METHOD

The surfaces and structure of soil minerals were comprehensively examined and studied under a scanning electron microscope (SEM, Carl Zeiss) at various magnifications.

The measurements of the radioactive background were carried out by “Radiagem 2000” (Canberra Co., USA) radiometer equipped with alpha, beta, gamma, neutron detectors, “Thermo Eberline R020 SI” (Thermo Electron Co., USA) dosimeter, “InSpector-1000” (Canberra Co., USA) radiometer-dosimeter, “GR-135 Plus” (Exploranium Co., USA) radiometer-dosimeter for isotope determination, “PRM-470CG” (Tesla Systems Ltd., USA) dosimeter with gamma ray counter and “IdentiFinder” (Thermo Scientific Co., AFR-USA) [5, 11].

The value of the energy of ionizing rays or particles determined by detector of spectrometers allowed to identify the isotopes of elements (that emits these rays or particles). Radiometer-dosimeters, equipped with “Genie 2000” spectroscopic system gamma and alpha spectrometers (Canberra) were used for radiometric measurements and analysis of soil and water samples, to determine the activity of radionuclides in soil mass, in their extracts and on adsorbents [12-14].

Atomic absorption AA-6800 spectrometer (Shimadzu), SEM (scanning electron microscope, Carl Zeiss), XRF and Expert-3L X-ray fluorescence spectrometers were used to determine elements and their quantities in the mass of minerals, isolated by analytical-chemical procedures from soil and water samples.

Selective nutrient media produced by H-Media (India) and Condalab (Spain) were used as a study method, to determine the number and types of microorganisms in stationary laboratory conditions. Express test napkins with ISO9001 certification and 13485 quality control system produced by R-Biopharm (Germany) were used to conduct microbiological express tests.

As a method for extracting minerals from soil, the were used flotation, sorption, centrifugal separation, ion-exchange and electrochemical treatment, filtration, neutralization, extraction, evaporation and crystallization at the treatment of samples.

RESULTS OF STUDIES AND THEIR DISCUSSION

The results of the conducted studies allowed to obtain extensive information about the possible behavior of natural radioisotopes and the geochemical composition of soil samples taken from Khizi, Siyazan and Shabran districts. The amount of sulfates, chlorides, Ca-carbonates, Na and K elements in the soils according to the analysis results differs significantly between the areas. These differences directly affect to migration and immobilization potential of radionuclides in the soil. The results of complex physicochemical analyses of the soil samples taken are shown in Table 1.

Table 1.

Region	Sulfates mg/kg	Chlorides mg/kg	Na, K mg/kg	Ca carbo- nates, mg/kg	J mg/kg	Sr mg/kg	NO ₃ /N O ₂ mg/kg	Fe/M n mg/kg	Zn mg/ kg	As mg/kg
Xizi	240	472	210; 5010	4316	2.0	52	38/1.8	55/9	2.2	0.009
Siyazan	300	428	208; 5630	4997	1.8	47	42/1.9	51/10	2.3	0.003
Shabran	690	407	191; 5470	5287	1.4	42	72/1.9	61/8	2.4	0.002

Indicators of soil samples taken from Khizi, Siyazan and Shabran regions.

According to the results presented in Table 1:

- The amount of sulfates varies from 240 mg/kg in Khizi to 690 mg/kg in Shabran. This change may increase the ionic strength of the soil and create conditions for the stabilization of radioisotopes in the form of complex compounds;
- The value of amount of chlorides (472 mg/kg) decreases from Khizi to Siyazan and Shabran. Chlorides can form soluble and semi-stable complexes with radionuclides;
- The amount of Na and K elements is high in soil samples. Especially the distribution of K element varies over a wider interval in Siyazan and Shabran regions, which confirms the possibility of more intensive presence of the K^{40} isotope;
- The amount of Ca-carbonates is high in all regions (4316–5287 mg/kg). This parameter is the main factor enhancing the accumulation of Sr isotopes (Sr^{91}) in the carbonate phase;
- The Fe:Mn ratio varies from 55:9 in Khizi to 61:8 in Shabran. This ratio is an indicator of the redox conditions and the potential for valence change of radionuclides;
- The potential presence of natural isotopes corresponded to the normal background level that can be observed in variable concentrations and not at a dangerous level according to the mineralogy and ionic composition of the soil.

Overall, the results show that the soils of the three studied regions are not at a dangerous level for the accumulation of radionuclides and corresponds to radiological safety standards. The chemical composition of the soil creates conditions that ensure the stable storage of radionuclides.

The analysis of the results of the conducted analyses shows that soil samples from Khizi, Siyazan and Shabran districts exhibit different characteristics in terms of radionuclide behavior due to their geochemical structure. These differences determine the migration, sedimentation capacity and immobilization level of natural isotopes ($^{11}Na^{22}$, $^{19}K^{40}$, $^{38}Sr^{91}$ and $^{90}Th^{228, 229}$) in the soil. The presence of low concentrations of Sr^{90} and Th^{232} isotopes in the soil samples will be clarified by further alpha and beta spectrometric analysis.

The high level of Ca-carbonates limits in particular the mobility of Sr radionuclides in the soil, since Sr ions participate in sedimentation and substitution reactions with carbonates. This property prevents the penetration of Sr isotopes into the deep layers of the soil, ensuring their stabilization. Various studies also show that in highly carbonated soils, strontium is more often found in immobile phases [8].

High chloride concentrations can ensure the presence of Na and their isotopes (such as Na^{22}) in water and soil solution in the form of ion complexes for a longer period of time. This property can increase the mobility of radionuclides in the soil to some extent. But, the results show that this process is not at a dangerous level and is main part of a natural background.

The distribution of the K^{40} isotope is closely related to the potassium content of the soil, and the high K element in the Siyazan-Shabran zone leads to a relative increase in this isotope. Natural radionuclide K^{40} constitutes the main part of the total radioactive background of soils.

The Fe:Mn ratio is an indicator of the oxidation-reduction conditions of the soil and affects the processes of valence change of radionuclides. The difference in the Fe:Mn ratio in the Khizi and Shabran districts indicates that there is an unequal migration potential of radionuclides.

Thus, the soils of the region can be considered safe from a radioecological point of view and no risk of contamination has been observed. The interregional geochemical comparison were shown in Table 2.

Table 2.

Interregional geochemical comparison table (results of analysis of soil samples).

Indicator	Xizi	Siyazan	Shabran	Comparative assessment
Sulphates (mg/kg)	240	300	690	Concentration of sulphates are relatively high in Shabran (increases ionic strength)

Chlorides (mg/kg)	472	428	407	Concentration chlorides is high in Khizi (complexation of radionuclide is possible)
Na; K (mg/kg)	210;5010	208;5630	191;5470	Siyazan and Shabran are richer with K (K^{40} increases the background)
Ca-carbonates (mg/kg)	4316	4997	5287	Concentration Ca is relatively high in Shabran (Sr immobilization is strong)
Iodine (I) (mg/kg)	2.0	1.8	1.4	Concentration Iodine is relatively high in Xizi (indicates oxidizing conditions)
Strontium (Sr) (mg/kg)	52	47	42	Concentration Sr is relatively high in Khizi (accumulation due to carbonation is different)
NO ₃ /NO ₂	38:1.8	42:1.9	72:1.9	Nitrogen transformation is more active in Shabran
Fe/Mn	55:9	51:10	61:8	Oxidation potential is relatively high in Shabran
Zinc (Zn) (mg/kg)	2.2	2.3	2.4	Concentration Zn is relatively high in Shabran
Arsenic (As) (mg/kg)	0.009	0.003	0.002	Concentration As is relatively high in Khizi

All the results obtained show that:

- The level of radionuclides in the studied soils does not pose an ecological and radiological threat.
- The high carbonation of the soil limits the mobility of Sr and Th isotopes.
- Geochemical parameters create conditions for the safe and stabilized storage of radionuclides in the soil.
- The geological and mineralogical characteristics of the Khizi, Siyazan and Shabran regions determine the distribution of radioisotopes within the natural background.

Comparative analysis of the regions shows that the soils of the Shabran region are dominant in terms of the amount of sulfates, Ca-carbonates and the ratio of NO₃/NO₂, which indicates that the ionic strength of the soil is high and ensures the stable retention of Sr isotopes in immobile phases. The high carbonation level of Shabran soils is the main geochemical factor limiting the mobility of Sr and Th isotopes.

The high concentration of chlorides in Khizi region creates favorable conditions for radionuclides to move more actively in the form of ionic complexes. In addition, compared to other regions the higher content of As and Sr in Khizi soils indicates the role of minerals in the natural geochemical background.

The Siyazan region is characterized by a balanced distribution of Na, K and Ca-carbonates. The soils of this region have moderate geochemical conditions (where radionuclides are neither completely immobile nor highly mobile) reflecting the tectono-lithological diversity of the region.

In general, interregional comparisons show that soils of all three districts do not create favorable conditions for radionuclides to reach dangerous levels. The geochemical properties of soils ensure the accumulation of natural radionuclides to levels that create a safe natural radioactive background.

CONCLUSION

The conducted studies showed that the radiochemical state of the soils in the northeastern regions of Azerbaijan is stable, and the activity of natural radionuclides determined in soil samples taken from these districts does not exceed sanitary norms and directive indicators.

The overall radioecological state is satisfactory. The different chemical composition of the soils affects the behavior of radionuclides. The content of sulfates, chlorides, Ca-carbonates, Na and K, as well as the ratio of Fe:Mn elements has significant variability across areas. These parameters directly affects the migration, sedimentation and immobilization level of radioisotopes in the soil. Sulfates and Ca-carbonates are at the highest level in the Shabran region, which creates conditions for more stable retention of Sr isotopes in the immobile phase. The high level of chlorides in the Khizi district may cause Na²² and other radionuclides to move more actively in the form of ion complexes. These data constitute an important basis for assessing the ecological safety of the region's soil resources.

LITERATURE

1. Camargo J.A., Alonso A. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems. *Environment International*. 2006, v.32(6), pp.831–849.
2. Mamedov Kh.F. Kinetics of nitrite formation in chlorinated waters. *Scientific Works – Fundamental Sciences. Chemistry*. 2012, v.1(XI), pp.163–165.
3. Romanenko G.A. Problems of technogenic impact on agro-industrial complexes. *Proceedings of the Scientific Session of RAAS*. 2003, pp.3–9.
4. Ward M.H. Drinking water nitrate and human health: An updated review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018, v.15(7), p.1557.
5. Mamedov Kh.F. Radiolytic decomposition of 3,4-benzopyrene in aqueous solutions. *High Energy Chemistry*. 2015, v.49(5), pp.354–355.
6. Kaushansky D.A., Kuzin A.M. *Radiation-biological technology*. Moscow: Energoatomizdat; 1984, 152 p.
7. Sakumoto A., Miyata T. Treatment of waste water by radiation and conventional methods. *Radiation Physics and Chemistry*. 1984, v.24(1), pp.99–115.
8. Korom S.F. Natural denitrification in the saturated zone: A review. *Water Resources Research*. 1992, v.28(6), pp.1657–1668.
9. Bronk D.A., Steinberg D.K. Nitrogen regeneration (Elsevier). In *Nitrogen in the Marine Environment*, pp. 385–467.
10. Xue Y., Wu Y., Chen Q. Seasonal variation and sources of nitrite in a large river system. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016, No:23, pp.23833–23844
11. Mamedov K.F., Aliyev A.G., Mamedova N.A., Badalova A.R. Radiolysis of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin in aqueous solutions. *Russian journal of Physical Chemistry A*. 2015, v.89(9), pp.1707-1709.
12. Mirzayev N.A., Filosofov D., Mammadov Kh., Burmil Zh.P., Yakushev E. Low radioactive NH₄Cl flux. *Journal of Instrumentation*. 2020, V.15(5), p.T05004.
13. Mirzayev N.A., Mammadov K.F., Burmii Z.P., Filosofov D.V., Yakushev E.A. High-purity ammonium acetate solution for low-background electronics. *Journal of radioanalytical and nuclear chemistry*. 2022, v.331(12), pp.5539-5545.
14. Mirzaev N.A., Marinova A.P., Mammadov K.F., Temerbulatova N.T., Kozempel J., Filosofov D.V. Sorption of metal ions on an anion-exchange resin in an ammonium acetate solution. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2020, v.94(6), pp.1190-1194.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18607873>
УДК 006.91

РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВЫХ ТЕРМОМЕТРОВ

БУЛАТОВА ДИНА САДЫРОВНА

Студентка транспортно – энергетического факультета Евразийского университета им.
Л.Н.Гумилёва

Научный руководитель – **КИРГИЗБАЕВА К.Ж., ЖУМАГАЛИ А.К.**
Астана, Казахстан

Аннотация: В статье рассмотрен порядок расчёта неопределённости измерений при калибровке цифровых термометров. Приведена математическая модель измерений, определены основные источники неопределённости по типу А и типа В, рассчитана комбинированная и расширенная неопределённость.

Ключевые слова: калибровка, цифровой термометр, неопределённость измерений, тип А, тип В, комбинированная неопределённость, расширенная неопределённость.

Введение

Цифровые термометры широко применяются в промышленности, медицине и научных исследованиях, где требуется высокая точность измерения температуры. Для обеспечения достоверности результатов измерений проводится калибровка термометров с последующей оценкой неопределённости. Расчет неопределённости позволяет количественно охарактеризовать качество измерений и является обязательным требованием международных и национальных нормативных документов в области метрологии.

При калибровке цифрового термометра определяют поправку его показаний относительно эталонного средства измерений. Модель измерений может быть предоставлена в следующем виде:

$$\Delta T = T_{\text{кал}} - T_{\text{эт}}$$

где:

$T_{\text{кал}}$ – показание калибруемого термометра,

$T_{\text{эт}}$ – значение температуры по эталонному термометру.

Все составляющие неопределённости классифицируются на неопределённости типа А и типа В. Неопределённость типа А определяется на основе статистической обработки наблюдений при неизменённых условиях измерений. Среднее значение температуры вычисляется так:

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

Среднеквадратическое отклонение результатов измерений:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n - 1}}$$

Стандартная неопределённость типа А определяются по формуле:

$$u_A = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Неопределённость типа В — это оценка всех возможных сторонних факторов, которые не были учтены при статистической обработке массива данных. Она отражает влияние систематических факторов, которые невозможно выявить прямыми измерениями. Для оценки неопределённости типа В используются разнообразные источники информации:

- Сертификационные и технические документы на измерительные приборы.
- Документальные свидетельства о метрологических проверках и калибровках.
- Справочные материалы о физико-химических свойствах веществ и материалов.
- Архивные результаты аналогичных измерений.
- Метрологические характеристики используемых констант и табличных величин [1-4].

Если в сертификате калибровки эталона указана расширенная неопределённость $U_{эТ}$ при коэффициенте охвата k стандартная неопределённость определяется так:

$$u_B = \frac{U_{эТ}}{k}$$

где k - коэффициент охвата.

Цифровой термометр имеет конечную цену деления (разрешающую способность), что ограничивает точность отсчёта показаний. Данная составляющая неопределённости определяется при предположении равномерного распределения и рассчитывается по формуле:

$$u_B = \frac{d}{2\sqrt{3}}$$

где d – цена деления (разрешающая способность) цифрового термометра.

Нестабильность температуры в процессе измерений приводит к изменению показаний цифрового термометра. Данная неопределённость относится к типу В, при предположении равномерного распределения определяется по формуле:

$$u_B = \frac{\Delta T_{ст}}{\sqrt{3}}$$

где:

$\Delta T_{ст}$ – это нестабильность термостата

Неоднородность температурного поля в зоне размещения датчика также оказывает влияние на результат измерений. В рамках данной работы вклад данной составляющей учитывается через разрешающую способность цифрового термометра. Стандартная неопределённость определяется как:

$$u_B = \frac{\Delta T_m}{\sqrt{3}}$$

где:

ΔT_m – это неоднородность термостата

С учётом всех рассмотренных составляющих комбинированная стандартная неопределённость определяется по формуле:

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{U_{\text{эт}}}{k}\right)^2 + \left(\frac{d}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_{\text{ст}}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T_m}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

Для представления результата калибровки используется расширенная неопределённость, которая рассчитывается по формуле:

$$U = k * u_c$$

где коэффициент охвата $k=2$, что соответствует доверительной вероятности около 95%. Результат калибровки цифрового термометра представляется в следующем виде:

$$\Delta T \pm U^\circ\text{C}, k = 2 p = 0,95$$

Заключение

Расширенный расчёт неопределённости при калибровке цифровых термометров позволяет объективно оценить точность измерений и качество применяемых средств измерений. Использование статистических методов и учёт всех значимых источников неопределённости обеспечивает соответствие результатов требованиям GUM и нормативных документов в области метрологии. Представленный подход может быть использован при проведении калибровочных работ в аккредитованных лабораториях.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кузнецов В. П., Орлов А. И. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник для вузов. — М.: Райт, 2018. — 384 с.
2. Руководство по выражению неопределённости измерений (GUM): Пер. с англ. — М.: Издательство стандартов, 2008. — 101 с.
3. ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. Методические указания по оценке неопределённости измерений при калибровке средств измерений. — СПб., 2016.
4. Захаров И. П. Основы метрологии и измерительной техники: учебное пособие. — М.: Академия, 2015. — 256 с.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18607937>
УДК 664.7:62-98

СОЯ ДӘНДЕРІНІҢ ЫЛҒАЛДАНУ ДИНАМИКАСЫ

АЙБЕКҚЫЗЫ АЯУЛЫМ

Алматы технологиялық университетінің "Интеллектуалды және инженерлік жүйелер» факультетінің «студенті
Алматы, Қазақстан

ЖАЛГАСБАЕВА ЕРКЕНУР

Алматы технологиялық университетінің "Тағам өндірісі» факультетінің «студенті
Алматы, Қазақстан

КҮЗЕМБАЕВА ГАУХАР ҚАНАШҚЫЗЫ

Алматы технологиялық университетінің қауымд.профессоры
Алматы, Қазақстан

СЫДЫҚБАЕВ ЖЕҢІС ТІЛЕШҰЛЫ

Алматы технологиялық университетінің қауымд.профессоры
Алматы, Қазақстан

КҮЗЕМБАЕВ ҚАНАШ

Алматы технологиялық университетінің қауымд.профессоры
Алматы, Қазақстан

Аннотация. Бұл жұмыста соя дәндерінің суда гидратациялану динамикасы эксперименттік түрде зерттелді. Тәжірибелер қозғалмайтын цилиндрлік шыны ыдыста жүргізіліп, бастапқы дән ылғалдылығы 5–51% аралығында, судың температурасы 20–26 °C диапазонында өзгертілді. Нәтижелер соя дәндерінің 4 сағат ішінде қарқынды гидратацияланып, ылғалдылығы шамамен 50%-ға жететінін көрсетті; бұл кезде дәннің орташа диаметрі 1,8 есе, ал көлемі шамамен 5,8 есе артты. Алынған деректер бірінші ретті экспоненциалды, Page және Peleg модельдерімен өңделді. Ең жоғары сәйкестік Peleg моделінде байқалды, ал тепе-тең ылғалдылықты физикалық тұрғыдан дәл сипаттауда бірінші ретті модель тиімді болды. Нәтижелер гидротермиялық өңдеу процестерін оңтайландыру үшін қолдануға жарамды.

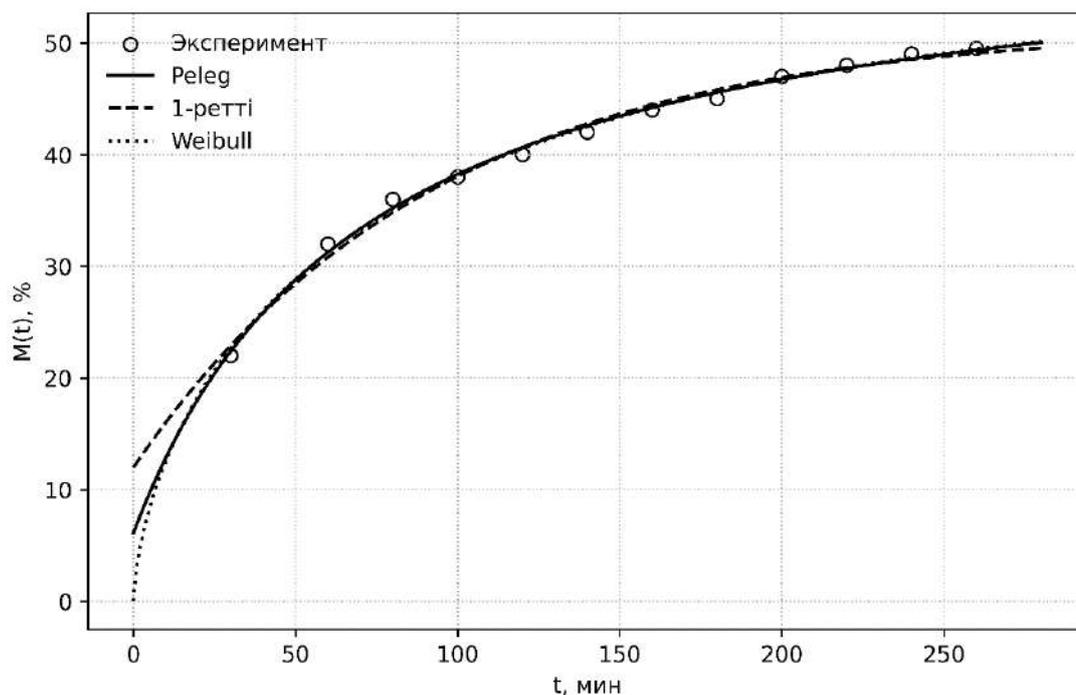
Түйін сөздер: соя дәндері, гидратация кинетикасы, гидротермиялық өңдеу, ылғалдың сіңуі, Пелег моделі, диффузиялық шектелген процесс

Өсімдік текті шикізатты гидротермиялық өңдеу тиімділігі ылғалдың дән құрылымына сіңу жылдамдығымен тікелей байланысты. Ішкі диффузиялық кедергісі жоғары шикізатты өңдеу барысында ылғалдану процесін қарқындату әдістерін негіздеу ерекше ғылыми және практикалық маңызға ие. Себебі соя дәндерін термиялық өңдеулер көмегімен ұлттық тағамдар шикізеттарының ассортиментін көбейтуге мүмкіндік туады [1..3].

Тәжірибелердің бірінші сериясы (қарапайым ылғалдандыру) шыныдан жасалған қозғалмайтын цилиндрлік ыдыста жүргізілді. Ыдыстағы судың массасы өңделетін дәннің мөлшеріне байланысты өзгертіліп отырды.

Зерттеу жұмысының алғашқы кезеңінде соя дәндерін қарапайым ылғалдандыру режимінде зерттеу жүргізілді. Тәжірибелер әйнектен жасалған, қозғалмайтын цилиндрлік ыдыста орындалып, судың массасы өңделетін дән мөлшеріне сәйкес өзгертілді. Бастапқы дән ылғалдылығы 5–51% аралығында алынып, су температурасы 20–26 °C шегінде тұрақтандырылды.

Мысал ретінде суретте бастапқы ылғалдылығы 6,2% болатын соя тұқымдарының ылғалдану кинетикасының сипаттамалық қисығы келтірілген. Қарапайым ылғалдандыру кезінде судың температурасы 23 °С болғанда және 260 мин уақыт ішінде дәндердің ылғалдылығы 51,1%-ға дейін артты (1 сурет).



1 сурет- Соя дәндерін суда ылғалдану графигі (M–t гидратация кинетикасы)

Тәжірибелік деректерді талдау нәтижесінде бастапқы ылғалдылығы 6,2% болатын соя дәндерінің 260 минут ішінде ылғалдылығы 51,1%-ға дейін артатыны анықталды. Бұл процесс дәннің геометриялық өлшемдерінің айтарлықтай өзгеруімен қатар жүрді. Атап айтқанда, дәннің орташа диаметрі 5 мм-ден 9 мм-ге дейін ұлғайып, салыстырмалы өсім коэффициенті 1,8-ге тең болды. Дәнді шартты түрде шар тәрізді деп қарастырғанда, оның көлемі шамамен 5,8 есе артқаны есептік жолмен дәлелденді.

Ылғалдылықтың абсолюттік өсімі 43%-ды құрап, орташа гидратация жылдамдығы шамамен 10,75%/сағ деңгейінде болды. Сонымен қатар дән диаметрінің өсу жылдамдығы 1,0 мм/сағ шамасында анықталды. Мұндай қарқынды гидратация нәтижесінде эндосперм мен қабықша құрылымы жұмсарып, кейінгі инфрақызыл, кондуктивті және микронизациялық жылумен өңдеу, сондай-ақ престоу, ұнтақтау және экструзия процестері үшін қолайлы жағдай қалыптасады.

Соя дәндерінің орташа диаметрі: $d_0=5$ мм, ылғалданғаннан кейін $d_t=9$ мм. Дәндердің бастапқы ылғалдылығы: $W_0=7\%$, ылғалданғаннан соң ылғалдылық $W_t=50\%$. Ылғалдану уақыты 4 сағат (судың орташа температурасы 20...25°C).

Диаметрдің салыстырмалы өсуі мына теңдеу арқылы анықталды

$$D_t/d_0=9/5 =1,8, \quad (1)$$

яғни сояның орташа диаметрі 1,8 есе артқан.

Соя дәннің шартты түрде шар деп алсақ оның көлемінің өсу коэффициенті

$$V_t/V_0=(d_t/d_0)^3=1,8^3\approx 5,83. \quad (2)$$

Дән көлемі шамамен 5,8 есе ұлғайған.
Ылғалдылықтың өсу қарқыны: Абсолюттік өсім:

$$\Delta W = 50 - 7 = 43\% \quad (3)$$

Орташа гидратация жылдамдығы:

$$dW/dt = 43/4 \approx 10,75\%/сағ. \quad (4)$$

Диаметрдің орташа өсу жылдамдығы

$$d_d/d_t = (9 - 5)/4 = 1,0 \text{ мм/сағ.} \quad (5)$$

Соя дәндері 4 сағатта қарқынды гидратацияланады, ылғалдың мөлшері 50%-ға жетеді. Бұл жағдай эндосперм мен қабық құрылымының жұмсаруына, жылу өңдеуге (ИК, кондуктивті, микронизация), престау, ұнтақтау немесе экструзияға өте қолайлы жағдай жасайды

Осы деректерге (7% → 50%; 4 сағ) сүйеніп, гидратация кинетикасын жазуға болатын үш ылғалдану моделін жасауға болады: экспоненциалды (1-тәртіп), Пейдж, Пак (Peleg) [4...7].

1) Экспоненциалды модель:

Көбіне ылғалдың тепе-теңдікке жақындауын сипаттайды.

$$MR(t) = \frac{W(t) - W_e}{W_0 - W_e} = \exp(-kt) \quad (6)$$

мұндағы $W(t)$ - уақыттағы ылғалдылық, %; W_0 - бастапқы ылғалдылық, %; W_e - тепе-теңдік ылғалдылық, %; k - жылдамдық тұрақтысы, 1/сағ.

Осыдан егер W_e мұна белгілі болса:

$$k = -\frac{1}{t} \ln \left(\frac{W(t) - W_e}{W_0 - W_e} \right) \quad (7)$$

Мұнда k коэффициентін табу үшін міндетті түрде W_e (мысалы, толық ісінгендегі соңғы ылғал) керек немесе бірнеше уақыттағы ылғалдылықтар керек.

2) Пейдж моделі (Page):

Экспоненциалдан икемдірек (көп өнімдерге жақсы сәйкес болады).

$$MR(t) = \exp(-k t^n) \quad (8)$$

мұнда k (1/сағⁿ) және n - тәжірибелік коэффициенттер.

Теңдеуді сызықтандыру үшін логарифмдейміз:

$$\ln(-\ln MR) = \ln k + n \ln t \quad (9)$$

Теңдеуді шешу үшін кемінде 2–3 уақыт нүктесі керек (түзу сызықарқылы k , n табылады).

3) Пак/Пелег моделі (Peleg):

Гидратацияға ең көп қолданылатындардың бірі (дән, бұршақ т.б.). Тепе-теңдікті міндетті түрде алдын ала білуді талап етпейді (бірақ жақсырақ бағалау үшін керек).

$$W(t) = W_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 t}, \quad (5)$$

мұндағы k_1 - бастапқы жылдамдыққа қатысты ($\text{сағ} \cdot \%^{-1}$), k_2 - сыйымдылық/шектелу параметрі ($\%^{-1}$).

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері соя дәндерінің суда гидратациялану процесі қарқынды жүретінін және 4 сағат ішінде ылғалдылықтың шамамен 50%-ға дейін артатынын көрсетті. Бұл жағдайда дәннің орташа диаметрі 1,8 есе, ал көлемі шамамен 5,8 есе ұлғаяды, нәтижесінде дән құрылымы кейінгі технологиялық өңдеулерге қолайлы күйге өтеді. Тәжірибелік деректерді модельдеу барысында Peleg моделі ең жоғары сәйкестік көрсеткіштерін көрсетті, ал бірінші ретті экспоненциалды модель тепе-тең ылғалдылықты физикалық тұрғыдан дәлірек сипаттады. Weibull моделіндегі $\beta < 1$ мәні гидратация процесінің диффузиялық-баяулайтын сипатта жүретінін дәлелдейді. Алынған нәтижелер соя дәндерін гидротермиялық өңдеу процесерін оңтайландыруда практикалық маңызға ие.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Gaukhar Kuzembayeva PhD, Associate Professor* Kanash Kuzembayev PhD, Associate Professor* Dinara Tlevlessova Corresponding author PhD, Associate Professor* E-mail: dinusina@mail.ru *Department of Food Technology Almaty Technological University Tole bi str., 100, Almaty, Republic of Kazakhstan, 050012. Optimization of the method of hydrothermal treatment of mogar grain for production of food concentrate
2. Кузембаева Г.К., Кузембаев К., Тлевлесова Д.А. “Optimization of the method of hydrothermal treatment of mogar grain for production of food concentrate “Talkan”. Eastern- European Journal of Enterprise Technologies, p.16-256 2023 40 процентиль
3. Способ производства национального пищевого продукта Патент на полезную модель N 5771 Кузембаева Г.К., Кузембаев К., Шәкір Ж.Т, Хабиева С.Р
4. Peleg M. An empirical model for the description of moisture sorption curves // Journal of Food Science. – 1988. – Vol. 53, № 4. – P. 1216–1217.
5. Page G. E. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers : PhD thesis. – West Lafayette : Purdue University, 1949. – 155 p.
6. Crank J. The Mathematics of Diffusion. – 2nd ed. – Oxford : Oxford University Press, 1975. – 414 p.
7. Singh R. P., Heldman D. R. Introduction to Food Engineering. – 5th ed. – London : Academic Press, 2014. – 880 p.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18607961>
УДК 663.473, 633.853.52, 664.727

СОЯ ДӘНДЕРІНДЕГІ АНТИҚОРЕКТІК ЗАТТАРДЫ ЖОЮ ТӘСІЛДЕРІ

АЙБЕКҚЫЗЫ АЯУЛЫМ

Алматы технологиялық университетінің "Интеллектуалды және инженерлік жүйелер» факультетінің «студенті
Алматы, Қазақстан

АНАШБАЕВА АРУЖАН

Алматы технологиялық университетінің "Интеллектуалды және инженерлік жүйелер» факультетінің «студенті
Алматы, Қазақстан

ЖУМАТАЙ АСХАТ

Алматы технологиялық университетінің "Интеллектуалды және инженерлік жүйелер» факультетінің «студенті
Алматы, Қазақстан

СЫДЫҚБАЕВ ЖЕҢІС ТІЛЕШҰЛЫ

Алматынського технологиялық университетінің қауымд.профессоры
Алматы, Қазақстан

КҮЗЕМБАЕВ ҚАНАШ

Алматынського технологиялық университетінің қауымд.профессоры
Алматы, Қазақстан

Аннотация. Бұл зерттеу соя дәнін өңдеу барысында антипитательдік компоненттердің төмендеуін қамтамасыз ететін технологиялардың тиімділігін бағалауға бағытталған. Соя ақуызының жоғары тағамдық құндылығына қарамастан, тұқым құрамындағы протеаза ингибиторлары, уреаза және фенолдық қосылыстар оның қолданылу аясын шектейді. Жұмыста гидротермиялық, экструзиялық, микротолқынды, инфрақызыл және кондуктивті өңдеу әдістері салыстырмалы түрде талданды. Әдеби деректер көпсатылы технологиялардың энергия шығынын арттырып, өнім сапасының тұрақтылығын төмендететінін көрсетті. Осыған байланысты электрофизикалық әсерлерге, сондай-ақ гидратация мен өндіруге негізделген тәсілдер ресурсты үнемдейтін және соя ақуызының биологиялық құндылығын сақтайтын перспективалы бағыттар ретінде қарастырылады.

Түйін сөздер: соя дәні, антипитательдік факторлар, трипсин ингибиторлары, уреаза, гидратация, термиялық өңдеу, микронизация, экструзия.

Нарықтық экономика жағдайында жұмыс істейтін кәсіпорындар үшін негізгі стратегиялық міндеттердің бірі – өнімнің бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз ету, оның тұрақты жоғары сапасын сақтау және ең алдымен энергия мен еңбек ресурстарын үнемдеу арқылы өндірістің өзіндік құнын төмендету болып табылады. Қазіргі нарық талаптары қымбат шикізатты қолданбай, жоғары биологиялық құндылығы бар, ақуызға бай тағам өнімдерінің ассортиментін үнемі жаңартып отыруды қажет етеді. Осы тұрғыдан алғанда, тағамдық, жемдік, емдік-профилактикалық, парфюмерлік-косметикалық және техникалық мақсаттағы бәсекеге қабілетті өнімдер өндіруге арналған бірегей шикізат ретінде соя дәндері ерекше қызығушылық тудырады.

Соя ауылшаруашылық дақылы ретінде бірқатар артықшылықтарға ие: жоғары өнімділігімен, климаттық жағдайларға салыстырмалы түрде бейімділігімен және қасиеттері жағынан жануар тектес ақуызға жақын, толыққұнды ақуыздың жоғары мөлшерімен сипатталады [1]. Сонымен қатар, сояның белгілі бір кемшіліктері де бар. Атап айтқанда, оның құрамында болатын улы заттар мен антиметаболиттер ас қорыту процесін баяулатып, соның нәтижесінде дақылдың жемдік және тағамдық құндылығын төмендетеді.

Соған қарамастан, қазіргі уақытта соя дәндерінен алынатын ақуыз өнімдерінің өндіріс көлемі жеткіліксіз, ал жекелеген соя негізіндегі өнім түрлері іс жүзінде өндірілмейді. Жаңа ақуыз өнімдерінің технологияларын әзірлеу экологиялық тұрғыдан қауіпсіз, функционалдық қасиеттері алдын ала белгіленген бастапқы ақуыздарды алуды қамтамасыз ететін тиімді технологиялық тәсілдер мен өңдеу әдістерін жасауды талап етеді.

Соя бұршақтарының жоғары тағамдық және биологиялық құндылығына қарамастан, оларды тағамдық және жемдік мақсатта пайдалану кезінде арнайы технологиялық өңдеу қажет. Бұл соя дәндерінің құрамында антикоректік факторлар деп аталатын бірқатар қосылыстардың болуымен түсіндіріледі. Оларға протеаза ингибиторлары, сапониндер, таниндер және олигосахаридтер жатады. Сонымен бірге антикоректік компоненттердің ішінде протеолитикалық ферменттердің – трипсин мен химотрипсиннің ингибиторлары ерекше назар аудартады. Трипсин ингибиторларының соя өнімдерінде сақталуы адам мен жануарлар организмінде бірқатар теріс физиологиялық әсерлер туындатады, атап айтқанда, ұйқыбездің гипертрофиясына, өсудің тежелуіне және күкіртқұрамды аминқышқылдарының тапшылығына әкелуі мүмкін. Сонымен қатар соя дәндерінің құрамында уреаза ферменті болады, оның химиялық әсері жоғары дәрежеде арнаулы сипатқа ие және соя ақуыздарының жалпы мөлшерінің шамамен 12%-ын құрайды [2].

Осы заттарды тиімді инактивациялау үшін қазіргі кезде қарқынды термиялық немесе термогидромеханикалық өңдеу әдістері қолданылады және соя өнімдері үшін трипсин ингибиторларының қалдық белсенділігінің рұқсат етілген деңгейі санитарлық нормалар мен ережелерде регламенттелген.

Қазіргі қолданыстағы технологиялар кешенді соя өңдеу әдістері технологиялық операциялардың бірнеше рет қайталануына негізделген, бұл ақыр соңында өнім жоғалтуларының көбеюіне, өңдеу уақытының созылуына және өндіріс шығындарының күрт өсуіне алып келеді.

Қолданыстағы ғылыми жарияланымдар мен патенттік материалдарды жүйелі талдау соя дәнін өңдеу технологияларының басым бөлігі дәстүрлі гидротермиялық ықпалға негізделгенін көрсетеді. Аталған тәсілдер технологиялық тұрғыдан қарапайым болғанымен, жылу және массаалмасу процестерін тиімді басқаруды қамтамасыз етпейді, соның салдарынан өңдеудің нәтижелілігі төмен болып қалады [3]. Мұндай жүйелерде температураның әсері дербес әрекет ететін факторлардың жиынтығымен анықталып, процестің тұрақтылығы мен қайталанғыштығын шектейді.

Ингибиторларды бейтараптандыруға бағытталған бірқатар әдістерде соя дәнін сілтілік ортада жібіту арқылы өңдеу қарастырылады, бұл кейінгі термиялық әсермен (соңғы ылғалдылық 8–12 %) ұштастырылады [4]. Ылғалдылықтың артуы дән құрылымының жылуға сезімталдығын күшейте, сілтілік компоненттер ингибиторлардың құрылымын бұзады [5]. Алайда мұндай химиялық-гидротермиялық ықпал соңғы өнімнің тұтынушылық қасиеттеріне теріс әсер етіп, сояға тән өткір иістің күшеюіне және бөгде дәмнің пайда болуына әкеледі.

Ол бұршақтарды РН 5,2-5,4 Сулы тағамдық қышқыл ерітіндісіне батыруды, 3 сағат ұстауды, меншікті қуаты 18-20 кВт/кг микротолқынды ток өрісінде термиялық өңдеуді, жиілігі 2820-2850 МГц 5-10 с жиілігін және одан кейін 105-110°C температурада экструзияны қамтиды [6].

Сояны жоғары параметрлерде өңдеуге негізделген басқа технологияларда шикізат ұзақ уақыт бойы жоғары температура мен қысым жағдайында ұсталады. Мәселен, дәнді 132 °C температурада және 0,2 МПа қысымда бір сағат бойы сұйық ортада өңдеу ұсынылады, ал

одан кейінгі салқындату кезеңі қысымды баяу төмендету арқылы жүзеге асырылады [Мұндай тәсілдің басты кемшілігі – технологиялық циклдің шамадан тыс ұзақтығы, бұл оны өнеркәсіптік жағдайда қолдануды шектейді.

Процесті қарқындалу мақсатында өңдеу уақытын айтарлықтай қысқартатын режимдер де ұсынылған. Атап айтқанда, сояны 130 °С температурада және 0,16 МПа қысымда бірнеше минут ішінде қайнату тәсілі сипатталған. Алайда тәжірибелік деректер көрсеткендей, қысқа мерзімді әсер уреазы белсенділігін нормативтік деңгейге дейін төмендетпейді, сондықтан мұндай технология толыққанды тиімді деп есептелмейді.

Температураны 105–120 °С шегінде ұстап, әсер ету ұзақтығын 10–20 минутқа дейін арттыру уреазы инактивациялауға мүмкіндік береді, бірақ ингибиторлардың белсенділігі айтарлықтай дәрежеде сақталады. Бұл жағдай өңдеудің көпсатылы сипатын қалыптастырып, қосымша энергия шығынын талап етеді.

Өнеркәсіптік практикада сояны өңдеудің балама нұсқасы ретінде экструзиялық технологиялар кеңінен таралған. Бұл жағдайда шикізат 120–140 °С температурада және 1,3–1,8 МПа қысымда қысқа уақыт ішінде өңделеді [7]. Экструзия ақуызға бір реттік жоғары қарқындылықтағы жылулық әсер беруге мүмкіндік бергенімен, ингибиторлардың толық жойылуын қамтамасыз етпейді және сонымен қатар биологиялық тұрғыдан құнды аминқышқылдарының, соның ішінде лизин мен күкіртқұрамды қосылыстардың термиялық бұзылуына әкелуі мүмкін.

Соя дәнін микронизациялау энергия үнемдеуші өңдеу технологияларының перспективалы бағыты болып табылады және инфрақызыл сәулеленуге негізделген баламалы жылу беру тәсілдерін қолданумен сипатталады. Инфрақызыл өңдеу дәні ішіндегі биохимиялық үдерістерді қарқындалтып, технологиялық режимдерді тиімді басқаруға мүмкіндік береді, сонымен қатар жылу ағынының жоғары тығыздығын қамтамасыз етеді. Сәулеленудің дәні қабатына бірнеше миллиметрге дейін енуі және ылғалдың қарқынды булануы нәтижесінде дәні құрылымы босаңсып, өңдеу уақыты едәуір қысқарады, ал ақуыздың мөлшері мен аминқышқылдық құрамы негізінен сақталады. 120–130 °С температура аралығында жүргізілген микронизация трипсин ингибиторларының белсенділігін айтарлықтай төмендетіп, уреазы белсенділігін минималды деңгейге жеткізеді. Алайда жоғары температураларда протеиндердің ерігіштігі төмендеп, дәні бетінің термиялық зақымдану қаупі артады. Инфрақызыл микронизацияның негізгі кемшілігі – жылудың біржақты берілуіне байланысты дәні көлемі бойынша температураның біркелкі таралмауы, бұл өңдеу режимін қатаңдату талап етеді және энергия шығыны мен өнімділікке теріс әсер етеді. [8,9].

Қуыру әдісі кезінде соя дәні қыздырылатын бетпен тікелей жанасып, жылу энергиясын кондуктивті жолмен қабылдайды. Нәтижесінде антипитательных заттар белсенділігін жоғалтады, өнімнің дәмдік қасиеттері жақсарады, қорытылуы артып, ақуыздың биологиялық құндылығы жоғарылайды. Бұл тәсіл бастапқы ылғалдылық деңгейіне қарамастан сояны өңдеуге және жоғары температура арқылы зиянкестерді жоюға мүмкіндік береді.

Төмен температурада ұзақ уақыт қуыру өнімге жұмсақ әсер етеді, ал жоғары температурадағы қысқа мерзімді өңдеу артық немесе жеткіліксіз термиялық әсер қаупін тудырады. Сонымен бірге, жанасу арқылы жылу беру қуыру процесін энергия және уақыт шығыны бойынша салыстырмалы түрде тиімсіз етеді.

Жекелеген зерттеулерде қабығынан тазартылған және ылғалдандырылған соя дәні СВЧ диапазонында қысқа мерзімді электромагниттік өңдеу ұсынылады [10]. Мұндай әсер уреазы белсенділігін төмендетуге мүмкіндік береді, бірақ сәулеленудің ұзаққа созылуы ақуыз құрылымының бұзылуына және оның қорытылу қабілетінің төмендеуіне себеп болады.

Жүргізілген талдау соя дәнін өңдеудің тиімді әрі ресурсты үнемдейтін жаңа технологияларын әзірлеудің өзектілігін айқындады. Осы тұрғыда электрофизикалық ықпалдарға негізделген ультрадыбыстық өңдеу перспективалы бағыт ретінде қарастырылады [11...13]. Бірақ бұл тәсіл үшін дендерді майдалау қажет.

Сояны өндіру процесінде маңызды көрсеткіштердің бірі – гидратация дәрежесі. Әдеби деректер бойынша соя дәні өз массасынан 2–3 есе көп су сіңіреді, бұл температура мен жібіту уақытына тәуелді. Зерттеу барысында әртүрлі соя сорттарының гидратациясы анықталып, нәтижелер олардың сумен қанығу үрдісі ұқсас екенін көрсетті. Алғашқы 12–14 сағатта суды қарқынды сіңіру нәтижесінде гидратация 80–140 % жетеді, ал кейінгі кезеңде процесс тұрақтанып, 110–160 % деңгейінде сақталады[14].

Соя тұқымын суландыру және өну жағдайына көшіру кезінде дәндегі биохимиялық жүйелер белсенді күйге өтеді. Нәтижесінде қор заттарының сақталуына жауапты реттеуші қосылыстар, соның ішінде протеолитикалық ферменттердің тежегіштері мен басқа антипитательдік факторлар біртіндеп деструкцияланады. Бұл өзгерістер өнген дәннің химиялық құрылымының қайта қалыптасуына ықпал етеді. Алайда мұндай үдерістердің ауқымы мен сипаты, әсіресе сорттық ерекшеліктерге байланысты, ғылыми дереккөздерде жеткіліксіз сипатталған. Сондықтан сояның өну процесін кешенді зерттеу өзекті мәселе болып табылады. Өзгерістерді объективті бағалау үшін ақуыз бен май мөлшерінің динамикасын, сондай-ақ уреазы белсенділігі арқылы антипитательдік қосылыстардың төмендеуін бақылау орынды.

Қорытынды

Әдеби және патенттік деректерді талдау соя дәнін өңдеудің қазіргі технологиялары негізінен антипитательдік факторларды төмендетуге бағытталғанын, алайда олардың көпшілігі жоғары энергия шығынымен, ұзақ технологиялық циклмен және өнім сапасының әлсіреуімен сипатталатынын көрсетті. Дәстүрлі және қарқынды термиялық әдістер ингибиторларды азайтқанымен, ақуыздың биологиялық құндылығының төмендеу қаупін арттырады. Инфрақызыл және микротолқынды өңдеу перспективалы болғанымен, жылудың біркелкі таралмауы технологиялық шектеулер туындатады. Осы тұрғыдан алғанда, соя дәнін гидратациялау мен өндіру антипитательдік қосылыстарды табиғи жолмен төмендететін тиімді биотехнологиялық бағыт ретінде ерекшеленеді. Сондықтан ресурсты үнемдейтін және өнім сапасын сақтайтын кешенді өңдеу технологияларын әзірлеу өзекті ғылыми міндет болып табылады.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Самарина Ю. Р., Щитов С. В., Кузнецов Е. Е. Подготовка кормового материала к длительному хранению //Евразийское Научное Объединение. – 2020. – №. 4-2. – С. 122-125.
2. Матюшев В. В., Хохлова А. И. Совершенствование технологического процесса переработки сои с использованием различных способов обработки ее семян //Проблемы современной аграрной науки: мат-лы междунар. заочной науч. конф.(15 окт. 2010 г.). URL <http://www.kgau.ru/index.php>. – 2010.
3. Чернов Д. С. Комбинированный нагрев сои для удаления антипитательных веществ //Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК. – 2015. – С. 57-60.
4. Колчин А.В. Использование сои, экструдированной с бентонитом, при выращивании молодняка свиней: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – М., 2007. – 19 с
5. Пат. 2283596 Российская Федерация, МПК А23L1/20. Способ обработки полножирной сои / Кощаев А.Г.; патентообладатель ФГОУ ВПО Кубанский государственный аграрный университет. – №2004135634/13; заявл. 06.12.2004; опубл. 20.09.2006.
6. Кононов В. М., Носовец А. Ф., Чекрыгина И. М. Способ инактивации антипитательных веществ и повышения питательной ценности соевых бобов. – 2007.
7. Пат. 2358459 Российская Федерация, МПК А23L1/211. Способ инактивации антипитательных веществ бобов сои / Кулигин Е.К., Золочевский В.Т., Шведов И.В.; патентообладатель ООО фирма "Кубаньпластик". – №2007134871/13; заявл. 20.09.2007; опубл. 20.06.2009.
8. Столбовская А.А. Исследование и разработка автоматизированной системы управления процессом влаготепловой обработки сои с целью инактивации антипитательных веществ: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – М.: РГБ, 2005
9. Хохлова А.И., Матюшев В.В. Результаты исследований по применению Полифермента для снижения уреазы и увеличения доли сахара в сое на установке «УЖК-600» // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2011. – № 2.
10. Золочевский В. Т., Кулигин Е. К., Шведов И. В. Способ инактивации антипитательных веществ бобов сои : заявка на изобретение РФ № 2007134871 А ; МПК А23L 1/211. – Опубл. 27.03.2009.].
11. Фролов В. Ю. и др. Классификация способов инактивации антипитательных веществ //World science. – 2016. – Т. 1. – №. 4 (8). – С. 39-43
12. Чачина С. Б., Шадрин М. А., Денисова Е. П. Разработка способа снижения антипитательных факторов и ингибиторов пищеварительных ферментов соевого белка //Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2024. – №. 3. – С. 5-29.
13. Рудик Ф. Я., Загородских Б. П., Моргунова Н. Л., Кодацкий Ю. А. Совершенствование технологии переработки сои с использованием ультразвука // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28, № 2. – С.]
14. Кощаева О. В. и др. Влияние проращивания на химический состав и содержание антипитательных веществ в семенах сои //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – №. 97. – С. 224-236.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18608010>
IRSTI 65.63.33

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF A NATIONAL FERMENTED MILK PRODUCT FROM CAMEL MILK

MUBARYAKOVA ARUZHAN BAURZHANOVNA

student at the Institute of Engineering and Food Technology of the S.Seifullin Kazakh Agrotechnical research university

Scientific supervisor – MUSTAFAYEVA AYAULYM KAKENOVNA
Astana, Kazakhstan

Abstract. *In this article, the technology of using plant raw materials in the production of the national fermented milk product from camel milk for the purpose of enrichment with vitamin C was developed. The main materials of the research were camel milk and rose hips growing in East Kazakhstan. Dry ground rose hips were taken as plant raw material. The value of rose hips as a source of vitamins, primarily ascorbic acid, is not only in the high amount of vitamin C, which is 10 times more than in apples, but also in the long-term storage of this substance in dried berries. The novelty of this study is the introduction of dry ground rose hips into the national fermented product from camel milk for the purpose of vitamin C enrichment. As a result of the research, the physico-chemical indicators, organoleptic indicators, the amount of vitamin C in 100 g of the product and the energy value of the kurt with dry ground rose hips were calculated.*

Keywords: camel milk, national lactic acid product, kurt, rose hip, vitamin C.

Introduction. Currently, the global dairy market is actively developing, and the assortment of manufactured products is expanding day by day. However, due to the economic situation and changes in the international environment, new approaches and methods that ensure the production of high-quality products in the dairy production and processing sector are still being considered. One quarter of Kazakhstan is characterized as flat steppe, another quarter as foothill regions, while half of the country is considered desert and semi-desert areas where camel breeding plays a special role. As of the end of 2023, the number of camels in Kazakhstan exceeded 61,614 thousand, and there is a need to regulate industrial processing of camel milk into export-oriented products. For Kazakhstan, in order to further develop the sector, one of the main tasks at present is the industrial processing and production of camel milk, which is currently considered at a low level. The production of camel milk, as well as the preparation and consumption of products such as cheese and yogurt from it, has been growing significantly in recent years [1].

Camel milk differs from the milk of other agricultural animals in its chemical composition, nutritional and medical properties. Camel milk contains three times more vitamin C and ten times more iron than cow's milk, as well as unsaturated fatty acids, B vitamins, and mineral substances. The average chemical composition of camel milk dry matter is 8.2%, fats – 3.5%, proteins – 2.9% (including casein – 2.5%), carbohydrates – 4.7%. Camel milk is also a rich source of calcium, phosphorus, and fat-soluble vitamins [2]. Known for its immune-forming, anti-inflammatory, apoptotic, and antidiabetic properties, camel milk is considered a naturally beneficial food. Due to its high content of β -casein and various secreted antibodies, it is easily digestible and, compared to cow's milk, is capable of resisting bacteria and viruses. The β -casein in camel milk does not cause allergies and is well absorbed, as it is sensitive to gastrointestinal hydrolysis; therefore, due to the high level of β -casein, camel milk is beneficial to human health [3].

Kazakh national dishes represent a traditional diet formed over many centuries. The daily diet of nomads is very beneficial to health and is distinguished by hospitality and generosity unique to the Kazakh people. Based on the main ingredients in their composition, Kazakh national dishes are divided into four groups: flour-based dishes, cereal-based dishes, meat dishes, and dairy dishes.

Kurt is one of the Kazakh national products. It is produced by fermenting cow's, sheep's, or goat's milk with pure lactic acid streptococcal cultures, separating the whey from the curd, and then drying it.

Normalized milk with a fat mass fraction of 0.6% is pasteurized at a temperature of 80–85°C for 10–20 minutes and cooled to 32–34°C, after which 5% starter culture is added and the acidity during fermentation is brought to 75–76°T. Then the curd is heated to 38–42°C and held for 20–30 minutes to accelerate whey separation, the whey is removed, and the curd with a moisture content of 76–80% is pressed for 3–5 hours. If salted kurt is prepared, the curd is salted before drying. Then the kurt is shaped into pieces weighing 20–60 g and dried in special drying chambers at a temperature of 35–40°C. In the finished product, the mass fraction of fat should be at least 12%, moisture content 17%, salt content not exceeding 2.5%, and acidity not exceeding 400°T. The shelf life of fatty kurt does not exceed 3 months, while that of non-fat kurt does not exceed 9 months.

The national product kurt is divided into three types:

- salted, dried curd, to which salt is added and then shaped into balls or cylindrical forms and dried;
- boiled, dried curd, which is boiled for 2–3 hours and then shaped into balls or cylindrical forms and dried;
- boiled paste-like mashed kurt intended for adding to soups [4].

Rosehip (*Rosa canina* L.) grows in all regions of the world, including Europe, Africa, Central and Western Asia, and Russia, due to its non-selective nature regarding climate and soil requirements. In Kazakhstan, 25 species of rosehip are found, four of which are endemic. Rosehip occurs in the Eastern Kazakh Uplands, Karatau, and Western Tien Shan regions. They are perennial plants belonging to the Rosaceae family. *Rosa* has many species and varieties. Their fruits, in addition to ascorbic acid, contain vitamins P, B1, B2, A, K, and E, sugars, tannins, pectins, organic acids, flavonoids, pigments, and salts of iron, manganese, phosphorus, magnesium, and calcium [5].

Ascorbic acid in rosehip exists in reduced and oxidized forms. After entering the body, it participates in enzymatic processes, stimulates metabolism, increases resistance to infections, and enhances work capacity. Another medicinal property of rosehip is its effect on the blood coagulation system [6].

Vitamin C, or ascorbic acid, is one of the vitamins that performs important functions in various chemical reactions of cellular metabolism. A deficiency of vitamin C can lead to scurvy.

In addition, vitamin C deficiency may lead to infections, obesity, cardiovascular diseases, diabetes mellitus, bone diseases, and skin diseases [7].

Research conditions and methods. The research objects were camel milk, cow's milk, dried and powdered rosehip, and the finished product kurt. Experimental research work was carried out in the workshop “Experimental production for dairy processing”.

Camel milk (Kyzylorda), cow's milk, and kurt product were selected as research objects. Each milk sample (200 ml) was aseptically collected into sterile plastic bottles with screw caps and immediately delivered to the laboratory in a refrigerated bag at a temperature of 4°C.

For the purpose of vitamin C enrichment, plant raw material rosehip was selected. This is because the daily vitamin C intake for adults ranges from 65 to 139 mg per day.

Research methods: determination of physicochemical parameters of milk, methods for determining moisture content and dry matter (GOST 17626-81), methods for determining acidity (GOST 3626-73), determination of the mass fraction of vitamin C (GOST 30627.2-98), as well as calculation of the energy value of the kurt product. In the laboratory of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, the moisture content and acidity of the finished product were determined. The vitamin C content in the finished product was studied in the laboratory of Almaty Technological University.

A tasting evaluation of the finished product was conducted. Ten tasters were invited for the tasting, and the organoleptic characteristics were evaluated. Six samples of the finished product were taken for the tasting.

Research results and their discussion. During the research, for the purpose of enrichment with vitamin C, formulations of the national fermented dairy product in six different variants (Table 1) and a technological scheme (Figure 1) were developed

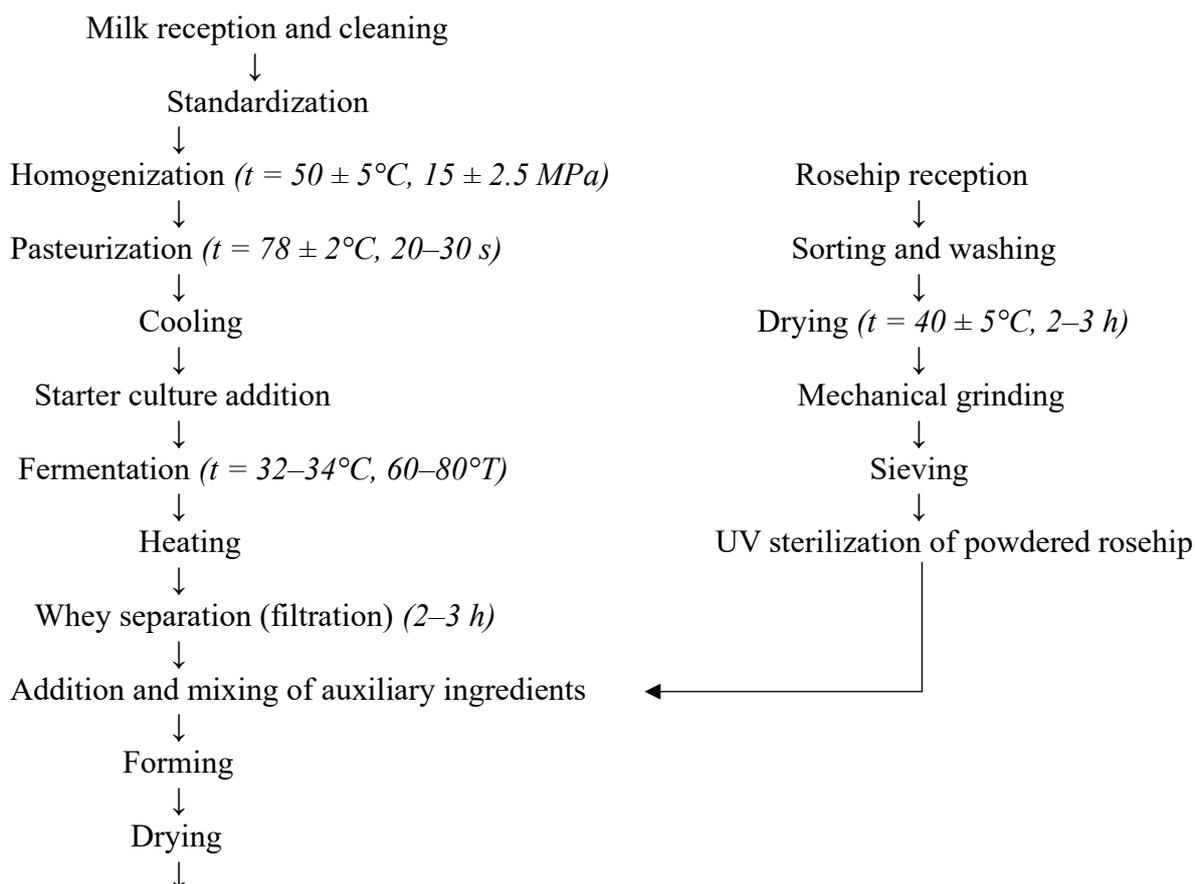
Table 1

Formulation of kurt with the addition of dried powdered rosehip (100 g),

Raw material name	Sample No.1	Sample No.2	Sample No.3	Sample No.4	Sample No.5	Sample No.6
Curd made from cow's milk	98	95	93	—	—	—
Curd made from camel milk	—	—	—	—	—	—
Dried powdered rosehip	—	3	5	98	95	93
Salt	2	2	2	2	3	5
Total	100	100	100	100	100	100

According to the organoleptic indicators, the best sample was selected depending on the level of vitamin C enrichment.

Figure 1 shows the technology of the national kurt product enriched with plant-based raw material rosehip



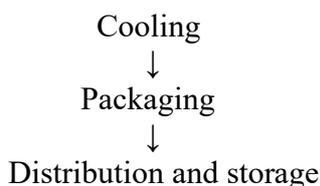


Figure 1. Flow diagram of the production technology of kurt with the addition of dried powdered rosehip

Kurt should be stored at a temperature not exceeding 15°C and at a relative air humidity not exceeding 75%; fatty kurt should be stored for 1 month, and skimmed (defatted) kurt for 3 months. The physicochemical parameters of milk are presented in Table 2

Table 2

Physicochemical parameters of milk

Parameters	Control sample (cow’s milk)	Sample I (skimmed camel milk)
Acidity, °T	18	19
Fat, %	3.01	1.46
Dry matter, %	11.86	8.95
Solids-not-fat (SNF), %	10.41	8.85
Protein, %	3.33	3.30
Density, kg/m ³	1031.28	1033.18

The evaluation of the organoleptic properties of kurt with the addition of dried powdered rosehip was carried out by assessing aroma, color, consistency, appearance, and taste. Table 3 presents the results of the tasting of the finished product, i.e., its organoleptic characteristics.

Table 3

Organoleptic characteristics of kurt with the addition of dried powdered rosehip

Samples	Appearance and consistency	Taste and aroma	Color
Control sample (without additives)	Weight 2–60g, spherical. Irregular shapes, with grooves and rounded edges allowed. Hard and dry	Acidic and moderate	Milky white
Control sample (3% rosehip)	Weight 2–60g, spherical. Irregular shapes, with grooves and rounded edges allowed. Hard and dry	Acidic and moderate, slightly salty	Yellowish
Control sample (5% rosehip)	Weight 2–60g, spherical. Irregular shapes, with grooves and rounded edges allowed. Hard and dry	Acidic and moderate, slightly salty, rosehip taste not noticeable	Light brown
Kurt made from camel milk (without additives)	Weight 2–60g, spherical. Irregular shapes, with grooves and rounded edges allowed. Hard and dry	Acidic and moderate, slightly salty, rosehip taste weak	White
Kurt made from camel milk	Weight 2–60g, spherical.	Acidic and moderate,	Yellowish

(3% rosehip)	Irregular shapes, with grooves and rounded edges allowed. Hard and dry	slightly salty	
Kurt made from camel milk (5% dried rosehip)	Weight 2–60g, spherical. Irregular shapes, with grooves and rounded edges allowed. Hard and dry	Acidic and moderate, slightly salty, rosehip taste not noticeable	Light brown

The organoleptic properties were evaluated using a 5-point scale. In the overall score assessment, the kurt containing 5% dried powdered rosehip received the highest scores (4.9 and 4.89). The control sample was rated 4.9 and 4.5 points for taste and aroma, while the kurt with 5% dried powdered rosehip received 4.7 and 4.7 points, respectively.

Based on organoleptic properties and vitamin C content, six samples were selected.

In 100 g of kurt with powdered rosehip, the fat content is 12.1 g, protein 53.2 g, carbohydrates 17.4 g, and its energy value is 391.3 kcal or 1637.2 kJ.

In Table 4, the physicochemical parameters of the finished product were determined according to GOST 17626-81 and GOST 3626-73.

Table 4

Physicochemical parameters of kurt

Parameter	Control sample (without additives)	Control sample (5% rosehip)	Kurt from camel milk (5% rosehip)
Acidity, °T	320	330	–
Moisture content, %	15	17	17

The content of vitamin C in 100 g of the finished product was determined using the colorimetric method according to GOST 30627.2-98 (Table 5)

Table 5

Vitamin C content in 100 g of products

Sample	Vitamin C content, mg/100 g
Control sample (without additives)	1.13 ± 0.03
Control sample (5% rosehip)	8.125 ± 0.19
Kurt from camel milk (5% rosehip)	11.754 ± 0.24

Conclusion. Based on the results of the conducted research, the possibility of introducing dried powdered rosehip into production to preserve the quality of the finished product, enhance its nutritional value, and enrich it with vitamin C was studied. The technology for producing kurt with dried and powdered rosehip was developed. The physicochemical parameters of the kurt product were determined according to GOST 17626-81 and GOST 3626-73. The organoleptic characteristics, nutritional, and energy values of the finished product were evaluated. Based on the research results, the proposed national kurt product enriched with vitamin C can be considered a natural product recommended for general consumption.

REFERENCES

1. Bureau of National Statistics [Electronic resource]. Retrieved from: <https://stat.gov.kz/official/industry>. Accessed: 23.02.2024 [in Kazakh].
2. Abdelmoneim, H. A., Abu-Jdayil, B., Bamigbade, G., Kamal-Eldin, A., Hamed, F., Huppertz, T., Liu, S.-Q., & Ayyash, M. (2023). Properties of low-fat Cheddar cheese prepared from bovine-camel milk blends: Chemical composition, microstructure, rheology and volatile compounds. *Journal of Dairy Science*, 1–2.
3. Abdelmoneim, H. A., Li, S., Liu, S.-Q., Gan, R.-Y., Li, H.-B., Kamal-Eldin, A., & Ayyash, M. (2023). INVITED REVIEW: Camel milk and gut health: Understanding digestibility and the impact on gut microbiota. *Journal of Dairy Science*, 1–2.
4. Kryuchkova, V. V. (2018). *Tekhnologiya moloka i molochnykh produktov [Technology of milk and dairy products]*. Persianovsky: Donskoy SAU. 115 p. [in Russian].
5. Sahingil, D., & Hayaloglu, A. A. (2022). Enrichment of antioxidant activity, phenolic compounds, volatile composition and sensory properties of yogurt with rosehip (*Rosa canina* L.) fortification. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28, 1–3.
6. Torikov, V. Ye., & Meshkov, I. I. (2023). *Kul'tiviruyemye i dikorastushchiye lekarstvennyye rasteniya [Cultivated and wild medicinal plants]* (2nd ed.). St. Petersburg: Lan. 111–113 p. [in Russian].
7. Tuna, B. H., Gürbüz, M., Uğur, H., Çatak, J., & Yaman, M. (2023). Vitamin C bioaccessibility of commercially available dietary supplements: Quantity vs efficiency, does it matter? *Journal of Food Composition and Analysis*, 123, 1

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18608082>
ГТАХА 65.63.91

СҮТ ҚЫШҚЫЛДЫ СУСЫН РЕТІНДЕ САРЫСУ НЕГІЗІНДЕГІ ӨНІМ РЕЦЕПТУРАСЫН ЖЕТІЛДІРУ

КУАНЫШЕВА ЗӘРУ ҚАДЫРХАНҚЫЗЫ

С.Сейфуллин атындағы Қазақ Агротехникалық зерттеу университетінің инжиниринг және азық-түлік технологиялар институтының студенті

Ғылыми жетекші – **МУСТАФАЕВА АЯУЛЫМ КАКЕНОВНА**
Астана, Қазақстан

Аннотация. Бұл мақалада сүт өндірісіндегі екіншілік шикізатты қалдықсыз өңдеу мәселелері қарастырылды. Сүт сарысуының жоғары сапалылығы мен зиянсыздығы, жеткілікті калориялылығы, ағзаға сіңімділігі, қоректік заттардың оңтайлы арақатынаста болуы, биологиялық және физиологиялық толыққандылығы оның тағамдық құндылығын сипаттайды. Сонымен бірге, сүт сарысуының энергетикалық құндылығы майсыздандырылған сүтке қарағанда төмен, ал биологиялық құндылығы шамамен бірдей, бұл оны диеталық тағам өнімдерін өндіруде пайдалануға болатынын көрсетеді. Зерттеу барысында сүзбе өндірісінде қалатын екіншілік шикізат – сүт сарысуы негізіндегі сусындарды өсімдік тектес шикізаттармен байыту арқылы дайын өнім әзірленіп, оның физика-химиялық, микробиологиялық, сонымен қатар органолептикалық көрсеткіштеріне бағалау жүргізілді. Сүзбе өндірісінің жанама өнімі-сарысуға өсімдік тектес шикізаттарды қосу арқылы, адам ағзасына пайдалы сусын өндіру әдістері және оларды жаппай тұтынуға ұсыну жағдайлары қарастырылды. Өсімдік тектес шикізат ретінде баллан және қара қарақат жидектері қосылып, жаңа сусын әзірленді. Зерттеу нәтижелері өсімдік тектес қоспалардың сүт сарысуы негізіндегі сусындардың тағамдық және биологиялық құндылығын арттыруға елеулі үлес қосатынын көрсетті. Баллан мен қара қарақат жидектерінің табиғи антиоксиданттарға, Р және С витаминдеріне, органикалық қышқылдарға, пектиндерге бай болуы өнімнің биологиялық белсенділігін күшейтеді. Сонымен қатар, олардың табиғи пигменттері сусынның түсін жақсартып, тұтынушылық тартымдылығын арттырды. Физика-химиялық зерттеулер сусын құрамындағы құрғақ заттар мөлшерінің, титрленетін қышқылдылықтың және рН көрсеткішінің өсімдік қоспаларының түріне және концентрациясына байланысты өзгеретінін анықтады. Микробиологиялық талдау дайын өнімнің қалыпты жағдайда сақтау мерзімі ішінде қауіпсіз екенін дәлелдеді. Органолептикалық көрсеткіштерді бағалау нәтижелері баллан мен қара қарақат қосылған үлгілердің дәмі мен иісі жағымды, үйлесімді, сондай-ақ тұтынушылар тарапынан жоғары бағаланатынын көрсетті.

Кілт сөздер: сүзбе сарысуы; өсімдік тектес шикізат; баллан және қара қарақат жидегі.

Кіріспе.

Қазіргі таңда, мектеп жасындағы жасөспірімдердің және колледж, университет студенттерінің күнделікті тұтынатын тамақ рационы әртүрлі және тұрақты емес. Мектеп оқушылары мен жоғары оқу орнының студенттері шамамен 70%-ы бояғышы бар сусындар мен газдалған сусындарды, әртүрлі тәтті бәліштерді және жылдам әзірленетін тағамдармен тұтынады. Бұл өсіп келе жатқан жасөспірімдер үшін ерекше қауіпті болып келеді, яғни өсу кезеңіндегі ағзаға кальций мен басқа да дәрумендердің жетіспеушілігі пайда болады, тәттіге деген тәуелділік қалыптасып, кейін қантты көп тұтынуға әкеледі. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының мәлеметтеріне сүйенсек, адам ағзасына әсіресе жасөспірімдер күнделікті

рационында 20-25 г-нан аспайтын таза сахарозаны тұтыну керек. Ал елімізде төмендегі сусындарға деген сұраныс азаймай отыр. Оларға:

- газдалған сусындар құрамында Е-коды бар жасанды бояғыштар (мысалы, E102, E110, E129) жиі болады;
- қаптамада сатылатын дайын «жидек» және «жеміс» сусындары - табиғи шырын үлесі аз, ал жасанды түс беретін бояғыштар көп болады;
- энергетикалық сусындар көп мөлшерде кофеин, таурин, жасанды бояғыштар мен консерванттар бар.

Жаңадан қалыптасып келе жатқан ағзаға сусындар теріс әсерін береді, өйткені олардың құрамындағы синтетикалық бояғыштар, қанттың шектен тыс мөлшері, жасанды қоспалар мен консерванттардың организмге қосымша жүктеме түсіріп, табиғи физиологиялық үдерістерді бұзуынан туындайды.

Бұл сусындардың зардабы бірден байқалмаса да, бірте-бірте ағзаның әлсіреуіне, жүйке жүйесінің бұзылуына, ұйқы режимінің бұзылуына, әсер етеді, нәтижесінде сусынға деген тәуелділік байқалады. Елімізде жасөспірімдердің газдалған, қанттың мөлшері жоғары сусындарды шамадан тыс тұтынатындықтан әртүрлі ауруға шалдығып отыр, мұндай сусындарды тұрақты түрде тұтыну жасөспірімдерде қан қысымының пайда болуына ғана емес, сондай-ақ артық салмақ қосуға да әкелуі мүмкін. Осындай күрделі мәселелерді оңтайлы шешу үшін пайдалы сусындармен алмастырған жөн. Оның бірден бір шешімі күнделікті тұтынып отырған сусынды, сүзбе сарысуынан әзірленген сусынға алмастыру. Сүзбе сарысуына әр түрлі микс өнім ретінде баллан және қара қарақат жидектерін қосу арқылы органолептикалық көрсеткіштерін жақсарту аламыз. Дәміне тоқталатын болсақ, жидектерімізді қантты алмастыратын тәттілендіргіштермен біркелкі араластыру арқылы үйлесімді, жағымды, сергітетін және тәтті-қышқыл үйлесімді дәм ала аламыз.

Сүзбе сарысуынан әзірленген сусынның бірқатар пайдалы тұстары бар:

- нәтижесінде қалдықсыз өнім өндіру технологиясы ұсынылады және дәруменге бай сусын алуға мүмкіндік береді;
- сүзбе сарысуынан әзірленген сусын ішек микрофлорасын қалыпқа келтіреді және ас қорытуды жақсартады;
- шаршауды басады; иммунитетті көтереді, яғни лактоза мен сарысу ақуыздары энергия көзі болып, жүйке жүйесін тыныштандырады;
- майлылығы төмен, бірақ тойымды сусын, сол себепті жасөспірімдердің артық салмағынан арылуына көмектеседі;
- микс ретінде баллан және қара қарақат жидектерін қосу арқылы қанық түс, жағымды хош иіс, табиғилықты көрсетеді.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу барысында сүт өндірісіндегі жалпы қабылданған стандарттар бойынша ГОСТ 3624-92, ГОСТ 26781-85, ГОСТ 25179-2014, ГОСТ 3626-73, ГОСТ 34352-2017 зерттеу жұмыстары жүргізілді. Өсімдіктекес шикізат ретінде баллан мен қара қарақат жемісімен байытылған сусын зерттелді. Органолептикалық зерттеулерді МЕМСТ 9959-2015 Сүт және сүт өнімдерінің органолептикалық көрсеткіштерін анықтау әдісімен анықталды. ГОСТ 28562-90 "Жемістер мен көкөністерді қайта өңдеу өнімдері бойынша қара қарақаттың құрамы анықталды.

Сүт сарысуында көптеген адам ағзасына пайдалы дәрумендер кездеседі, олардың әрқайсысының орны маңызды. 1-кестеде ірімшік пен сүзбе сарысуын құрамындағы дәрумендер салыстырмалы түрде көрсетілген.

1-кесте. Сүт сарысуы құрамындағы дәрумендер, мкг/кг

Сарысу	Каротин	А	Е	В1	В2	В6	Холин	РР	С
Ірімшік	13	22	227	315	1389	524	160000	140	500
Сүзбе	75	110	315	263	1107	478	140000	140	500

Баллан жидегі (калина) – өнімді қыркүйек және қазан айларында іріктеп алады. Бірақ мұны алғашқы аяз өткенде жинаған дұрыс деп есептелінеді. Осы кезеңде жемістерінде аса бағалы компоненттер жинақталады, оның үстіне олар аса ащы болмайды. Баллан жемісін шырын және шай дайындау үшін пайдаланады. Олардағы А дәрумені адамға қажетті тәуліктік нормадан артық, сондықтан репродуктивті жүйе үшін жидек қажет, көздің, терінің жағдайын жақсартып, иммунитетті қалыпқа келтіреді. Баллан жидегінің пайдасына тоқталсақ, антиоксиданттарға бай; жүрекке пайдалы; ұйқыны жақсартады; иммунитетті күшейтеді; ас қорытуға жақсы әсер етеді. Қан қысымын реттеуге көмектеседі, яғни баллан құрамындағы органикалық қышқылдар мен пектиндер қан тамырларын кеңейтіп, қан айналымын жақсартады. Халық медицинасында жоғары қан қысымын түсіру үшін жиі пайдаланылады. Қабынуға қарсы әсері бар - жидектегі фитонутриенттер ағзадағы қабыну процестерін азайтады. Бұл буын аурулары, бас аурулары, суық тию сияқты жағдайларда пайдалы болуы мүмкін. Жүйке жүйесін тыныштандырады - калина шайы немесе жылы тұнбасы стрессті азайтып, жүйкені тыныштандырады. Ұйқы бұзылғанда көмектесетіні де осыдан.

Қара қарақат жидегі – құнды дәрумендерге, органикалық қышқылдарға және антиоксиданттарға бай жидек. Өнімді шілде–тамыз айларында жинайды. Піскен кезде жидектер өзінің ең жоғары қоректік құрамына жетеді, ал дұрыс кептірілген, мұздатылған түрінде де пайдалы қасиеттерін ұзақ сақтайды. Жидектерді шырын, морс, шай, тосап және түрлі сусындар дайындау үшін кеңінен қолданады. Қара қарақаттың С дәрумені мөлшері өте жоғары: тәуліктік қажеттіліктен бірнеше есе артық. Сондықтан ол иммунитетті нығайтуға, ағзаның суықтауларға төзімділігін арттыруға ерекше пайдалы. Сонымен қатар көздің, терінің, шаш пен тырнақтың жағдайын жақсартады. Бұл өсімдік тектес шикізаттың бірқатар пайдалы тұстары айтып кетсек болады, олар: антиоксиданттарға өте бай; жүрек және қан тамырлары үшін пайдалы; иммунитетті күшейтеді; ас қорыту жүйесін жақсартады; биологиялық белсенді заттар буын, бұлшық ет, тамақ ауруларындағы қабынуды жеңілдетеді; В тобы дәрумендері жүйкені тыныштандырып, шаршауды азайтады, ұйқының жақсаруына ықпал етеді және қан құрамын жақсартуға көмектеседі. Қара қарақат жидегін сусынға қоспа ретінде қосып, сергіткіш дәм; табиғи қанық түс және пайдалы дәрумендерін ала аламыз.

Сарысудан өсімдік тектес шикізатпен байытылған сусын өндіру мақсатында баллан мен қара қарақат жидегі дайындалды. Зерттеу барысында бақылау үлгісі және 3 нұсқада зерттеу жұмыстары жүргізілді. Бақылау үлгісі ретінде сарысу сусыны алынды. Бірінші нұсқа бойынша сүзбе сарысуына баллан жидегі қосылып, сусын дайындалды. Екінші нұсқа бойынша сүзбе сарысуына қара қарақат жидегі қосылып, сусын әзірленді. Үшінші нұсқа бойынша сүзбе сарысуына баллан жидегі және қара қарақат қосылып сусын әзірленіп, микс қоспа дайындалды. Төменде баллан мен қара қарақаттан әзірленген сусынның рецептурасы көрсетілген.

2-кесте. Баллан мен қара қарақатқа байытылған сусынның құрамы

	Патент РК №1613, МПК А23С 21/08, жарияланды 15.08.2016ж	№1-нұсқа	№2-нұсқа	№3-нұсқа	Бақылау үлгісі
Сүзбе сарысуы,г	680	800	800	700	1000
Қара қарақат, г	250	-	100	100	-

Баллан (калина), г	50 экстракті	100	-	100	-
Қант	20 стевий тұнбасы	100	100	100	-
Барлығы, г	1000	1000	1000	1000	1000



Зерттеу барысында сүт өндірісіндегі жалпы қабылданған стандарттар бойынша ГОСТ 3624-92, ГОСТ 26781-85, ГОСТ 25179-2014, ГОСТ 3626-73, ГОСТ 34352-2017 зерттеу жұмыстары жүргізілді. Өсімдік тектес шикізат ретінде баллан мен қара қарақат жемісімен байытылған сусын зерттелді, оларды келесі құрам бойынша үлгілері дайындалды:

№0 нұсқа – бақылау үлгісі;

№1 нұсқа – 10% баллан қосылған сарысу сусыны;

№2 нұсқа - 10% қара қарақат қосылған сарысу сусыны;

№3 нұсқа – 10% қарақат жемісі және 10% баллан жемісі қосылған микс түріндегі сусын.

Дайын өнімнің тағамдық және биологиялық құндылықтарын Астана қаласындағы «Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» АҚ-ның аккредитациядан өткен «Сүт өнімдерін қайта өңдеуге арналған тәжірибелік-өндірістік цехы» ғылыми-зерттеу зертханасында жұмыстар жүргізілді. Зерттеулер нәтижесі баллан және қарақат түріндегі өсімдіктен қоспаның 20%-ын микс ретінде сарысу сусынына қосқан кезде ең жоғары көрсеткішті көрсетті.

Нәтижелер және оларды талқылау

Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы кафедрасының оқытушыларынан қорытындысы нәтижесінде үшінші нұсқаға (баллан мен қарақат қосылған сусын) басым дауыс беріліп оң нәтиже көрсетілді.

Сыртқы түрі мен консистенциясы бойынша біртекті сұйықтық. Дәмі мен иісі баллан мен қара қарақаттың балғын дәмі және тәтті сүзбе сарысуының дәмі сезіледі. Жидектерді микс ретінде қосу арқылы қышқыл дәм мен тәтті дәмнің орташа рецептурасы алынды. Микс

сусынның түсі ашық күлгін, тағамдық бояғыштар мен хошиістендіргіш қоспаларды қажет етпейді. Қышқылдылығы рН-3,96.

Баллан мен қара қарақат қосылған микс сусынның техникалық шарттар талаптарына сәйкес болуы және санитарлық-ветеринариялық нормалары мен рецептурасына сақтай отырып орындалды. Баллан мен қара қарақат қосылған микс сусынның органолептикалық көрсеткіштері 3-ші кестеде көрсетілген.

3-кесте. Сусынның органолептикалық сипаттамасы

Көрсеткіш атауы	Көрсеткіш
Иісі мен дәмі	Таза өнім қосылғандықтан, ингредиенттердің сонымен қоса тәтті сүзбе сарысуының дәмдері сезіледі; дәмі ингредиенттер қышқыл дәм мен сүзбе сарысуы тәтті дәм болғандықтан олардың қосындысы орташа ашқылтым дәмді құрайды.
Консистенциясы	Біркелкі сұйық сусын; тағамдық бояғыштар мен ароматты қоспаларды қажет етпейді.
Түсі	Қосылған ингредиенттің түсіне байланысты, біздің жағдайымызда ашық күлгін түске ие.

4-кесте. Сусынның физикалық көрсеткіштері

Көрсеткіш атауы	Көрсеткіш мәні	ГОСТ 34352-2017
рН мәні	3,96	3-тен 8 дейін
Титрлік қышқылдық, °Т	55	70 көп емес
Ақуыздың массалық үлесі, %	1,56	0,4 кем емес
С дәруменінің массалық үлесі, %	1,80	-
Құрғақ заттардың мөлшері, %	5,3	5,0 кем емес
Лактозаның массалық мөлшері, %	4,7	3,5 кем емес

Алынған мәліметтердің нәтижесінде сарысу негізіндегі сусынның нәтижелері МЕМСТ 34127-2017 талаптарына сәйкес келеді.

Зерттеу барысында сарысу негізді сусынды әзірлеу кезіндегі негізгі көрсеткіш сусынның тұрақтылығын сақтауы, сондықтан осы мақсатта сусынды сақтау ұзақтығы белсенді қышқылдылықтың өзгерісі негізінде зерттелді. Төменде сарысу негізінде өсімдіктес шикізатпен байытылған сусынның сақтау мерзімінің белсенді қышқылдылығына сәйкес өзгеруі көрсетілген.

5-кесте. Сарысу негізінде өсімдіктес шикізатпен байытылған сусынның сақтау мерзімінің белсенді қышқылдылығына сәйкес өзгерісі

Нұсқа	рН мәні			
	0 тәулік	2 тәулік	3 тәулік	5 тәулік
№0 нұсқа	4,74	4,74	4,72	4,70
№1 нұсқа	3,89	3,88	3,86	3,86
№2 нұсқа	4,04	4,02	4,01	4,01
№3 нұсқа	3,96	3,96	3,94	3,94

Кестеден көріп тұрғанымыздай 5 тәулікте сақтау кезінде сусынның рН мәні сәл өзгеріске ұшырады, бірақ нәтижесінде сусыннан жағымды тәтті дәм байқалды.



1-сурет. Бақылау үлгісі және өсімдіктестес шикізаттармен байытылған сусын үлгілері.

Өнімнің органолептикалық қасиеттерін және физикалық көрсеткіштерін анықтау үшін әр нұсқадан сынамалар алынып зерттелді. Зерттеудің нәтижесінде баллан және қара қарақатпен байытылған сарысу негізді сусын тағамдық талшықтарға бай екенін және дәрумендерінің мөлшері жоғары екенін байқауға болады. Сонымен қатар табиғи жидектер сусынның дәмін ғана емес, сонымен қатар түсін де өзгертті, нәтижесінде дәмді және пайдалы сусын алынды.

Қорытынды

Зерттеу жұмысты орындау барысында сүзбе өндірісіндегі екіншілік өнімді қалдықсыз өңдеу технологиясы қарастырылды; әдеби шолу негізінде сарысуды пайдалану артықшылықтары зерттелді; өсімдік тектес шикізаттарға негіздеме жүргізіліп, баллан және қара қарақат жидегі таңдап алынды; сарысу негізіндегі сусынның рецептурасы мен технологиясы әзірленді; дайын өнімнің сапасын органолептикалық және физика-химиялық бағалау жұмыстары жүргізілді. Нәтижесінде, жасөспірімдер тұтына алатын дәруменге бай, пайдалы, биологиялық құндылығы жоғары сусын алынды.

Сүзбе сарысуы қалдық емес, ғылыми тұрғыда перспективалы биошикізат және оны нано- және биомембраналық әдістер арқылы тиімді өңдеу жоғары сапалы, экономикалық тұрғыда пайдалы өнімдер алуға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта, елімізде сүзбе өндірісіндегі екіншілік өнім сарысудың тек 10%-ы ғана өндіріледі, ал қалған 90%-ы технологиялық тұрғыдан кәдеге жаратылмай, көбінесе кәріз жүйелеріне немесе өндірістік қалдық су арналарына төгілетіні баршамызға мәлім. Сүзбе сарысуының дұрыс өңделмей табиғатқа төгілуі су, топырақ және ауа сапасын нашарлатып, жалпы экологиялық жағдайды қиындатады. Себебі оның құрамында органикалық заттар, лактоза, белоктар, минералдар көп болғандықтан өзенге құйылған кезде балықтар мен су жануарларына зақым келеді. Ал қалдық топыраққа түскен кезде топырақтың рН деңгейін төмендетеді, пайдалы микроорганизмдер жойылады, өсімдіктердің өсуі нашарлайды. Сондықтан сүзбе өндірісіндегі екіншілік өнімді қайта өңдеу, тағамдық өнімдерге әсіресе сусын өндірісіне пайдалану – экологиялық тұрғыдан ең тиімді шешім болып табылады.

Сүзбе сарысуын өнеркәсіптік жолмен өңдеу және оны тиімді пайдалану – экономикалық тұрғыдан пайдалы, экологиялық жағынан қауіпсіз және әлеуметтік маңызы бар іс. Бұл бағытты дамыту арқылы елдің азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуге және жаңа биотехнологиялар мен нанотехнологияларды өндіріс процесіне енгізуге болады.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. G.N. Zhakupova, A.T. Sagandyk/ Development of technology of yoghurt by using acid whey // Series chemistry and technology. 4. 2020. – P. 51-57.
2. Храмов А.Г. Феномен молочной сыворотки / А.Г. Храмов. – СПб.: Профессия, 2011.- 804 с.
3. Дыкало,Н.Я Ещё раз о молочной сыворотке / Н.Я. Дыкало // Современные направления переработки сыворотки: сб. материалов 118: международного научно-практ. семинара. — М.: НОУ «Образовательный нанотехнический центр молочной промышленности», 2006; - С. 15-17.
4. Sagandyk, A. T., Liberal, Â., da Silveira, T. F., Alves, M. J., Ferreira, I. C., Zhakupova, G. N., Barros, L. (2024). Nutritional, phytochemical, and bioactive prospects of black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) and saskatoon berry (*Amelanchier ovalis*) grown in the Republic of Kazakhstan. *Applied Food Research*, 4(2), 100564. (Q1). DOI: 10.1016/j.afres.2024.100564
5. Zhakupova, G., Kakimov, M., Tultabayeva, T., Sagandyk, A., & Shoman, A. (2023). Exploring the impact of wild northern kazakhstan raw material juices on the chemical composition of whey drinks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 126(11). (Q3) <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.290095>
6. Нуртаева А.Б.; Бекқожин А.Ж. «Сүт және сүт өнімдерінің технологиясы». Оқу құралы. - Астана. С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті. 2014 ж. - 180 б С.- 100-101.
7. Татьяна Елисеева, Анастасия Мироненко Витамин С (аскорбиновая кислота) описание, польза и где содержится // Журнал здорового питания и диетологии. 2018. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vitamin-saskorbinovaya-kislota-opisanie-polza-i-gde-soderzhitsya> (дата обращения: 11.05.2024) С. 33-45.
8. Теплова, А. И. Витамины и минералы для жизни и здоровья / А. И. Теплова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : СпецЛит, 2016. — 111 с. — ISBN 978-5-299-00815-9. — Текст : электронный // Лань : электронно библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/103972> (дата обращения: 20.04.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
9. Сүт және сүт өнімдері. Натрий хлоридін анықтау әдістері МЕМСТ 3627 31.
10. С дәруменнің (аскорбин қышқылы) массалық үлесін анықтау әдістері. С дәруменнің (аскорбин қышқылы) массалық үлесін МЕМСТ 30627.2-98.
11. Сүт және сүт өнімдері. Микробиологиялық талдау әдістері МЕМСТ 9225-84.
12. Евдокимов И. А., Храмов А. Г., Нестеренко П. Г. Современное состояние переработки молочной сыворотки //Молочная промышленность. – 2008. – №. 11. – С. 36-39.
13. Храмов А.Г. Феномен молочной сыворотки. -СПб.:Профессия.- 2011.-804 с., табл., ил.
14. Мирзакулова А.А., Сарсембаева Т.Е., Калемшарив Б. Итмұрын дәрумендік кешенімен байытылған сүт сарысуы негізіндегі сусындар технологиясын әзірлеу. Алматы технологиялық университетінің хабаршысы. 2025; 147(1). Б28-34.
15. Жакупова Г.Н., Тултабаева Т.Ч., Сағандық А.Т., Торегелди З.С. Исследование и разработка ресурсосберегающей технологии производства мягкого сыра из молочной сыворотки// Вестник Алматинского технологического университета. 2023.- №1. - С.81-88.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18608178>

**«ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА
НА НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
СОЦИОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОСА)»**

АРЫНОВА Ш.Ж.

доктор PhD, Торайгыров университет, г. Павлодар

НҰРҒАЛИ Е.Е.

магистрант, Торайгыров университет, г. Павлодар

В статье рассматриваются особенности формирования культуры безопасности труда на нефтехимических предприятиях Республики Казахстан. На основе результатов социологического опроса работников двух нефтехимических предприятий проведён сравнительный анализ уровня безопасности труда, эффективности обучения и инструктажей, обеспеченности средствами индивидуальной защиты и факторов формирования безопасного поведения. Выявлены ключевые проблемы и предложены практические пути их решения, ориентированные на снижение производственных рисков и повышение ответственности персонала.

Введение

Нефтехимическая промышленность относится к числу отраслей с повышенным уровнем производственной опасности, что обусловлено сложностью технологических процессов, использованием опасных веществ и высокой степенью ответственности работников. В этих условиях особое значение приобретает не только соблюдение нормативных требований по охране труда, но и формирование устойчивой культуры безопасности труда, основанной на осознанном безопасном поведении работников и активной позиции руководства.

Актуальность исследования определяется необходимостью перехода от формального выполнения требований охраны труда к развитию культуры безопасности как элемента профессиональной компетентности работников нефтехимического производства.

Методика исследования

Исследование выполнено методом анкетного опроса работников двух нефтехимических предприятий:

- ПНХЗ — 15 респондентов;
- ТОО «Нефтехим LTD» — 33 респондента.

Выборка включала работников различных категорий (рабочий персонал и инженерно-технические работники) с различным стажем трудовой деятельности — от менее 1 года до более 15 лет. Анкета состояла из 10 вопросов, направленных на выявление субъективной оценки уровня безопасности труда, эффективности обучения и инструктажей, обеспеченности СИЗ, информированности о рисках и факторов формирования безопасного поведения.

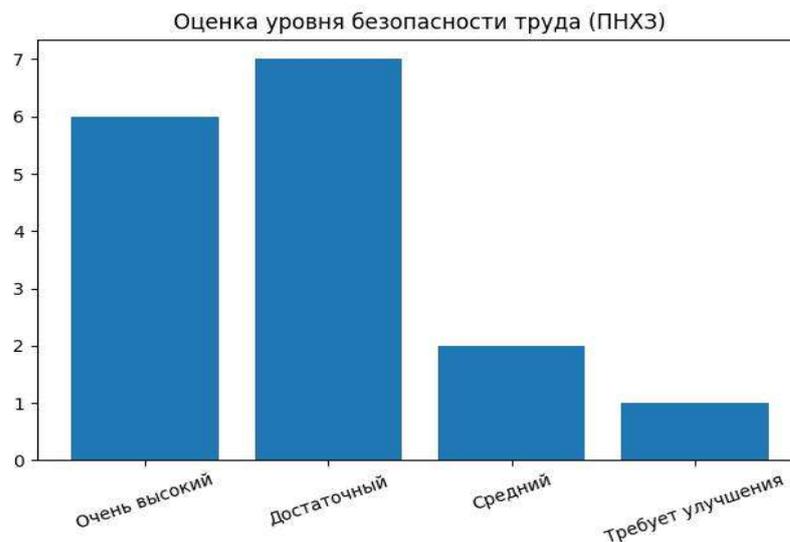


График №1 «Нефтехим LTD»

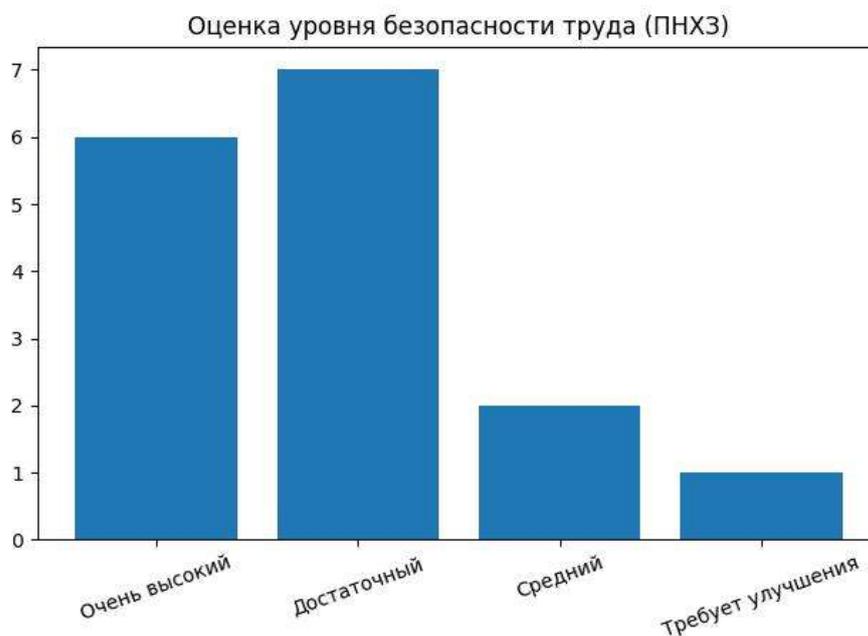


График №2 «ПНХЗ»

Оценка уровня безопасности труда

Результаты опроса показали, что большинство работников обоих предприятий оценивают уровень безопасности труда как достаточный или высокий. Вместе с тем в ТОО «Нефтехим LTD» зафиксированы единичные оценки «требуется улучшения», что указывает на наличие проблемных зон и необходимость совершенствования системы охраны труда.

Эффективность обучения и инструктажей

Большинство респондентов отметили, что обучение и инструктажи по технике безопасности организованы достаточно эффективно, однако значительная часть работников указала на необходимость их улучшения. В частности, подчёркивается недостаток практических занятий и избыточная формализация процесса обучения.

Это свидетельствует о том, что традиционные формы инструктажей не в полной мере способствуют формированию устойчивых навыков безопасного поведения.

Обеспеченность средствами индивидуальной защиты

Анализ ответов показал, что в целом работники удовлетворены предоставляемыми СИЗ, однако часть респондентов указала на их частичное несоответствие условиям труда, а также необходимость обновления спецодежды и оборудования. Данный факт указывает на важность регулярной оценки качества и эргономичности СИЗ с учётом специфики выполняемых работ.

Взаимодействие работников и руководства

Большинство опрошенных оценивают взаимодействие с руководством по вопросам охраны труда как открытое и конструктивное. В то же время отдельные ответы указывают на формальный подход к вопросам безопасности и недостаточную вовлечённость персонала в процессы управления рисками.

Факторы формирования культуры безопасности труда

Согласно результатам опроса, ключевыми факторами формирования безопасного поведения являются:

- профессиональное обучение;
- практические тренировки;
- личная ответственность работника;
- мотивация и поощрение со стороны руководства.

Полученные данные подтверждают, что культура безопасности труда формируется не только через нормативные требования, но и через систему мотивации и организационную культуру предприятия.

Основные проблемы формирования культуры безопасности труда

По результатам исследования выявлены следующие проблемы:

- формальный характер отдельных инструктажей по охране труда;
- недостаточная практическая направленность обучения;
- частичное несоответствие СИЗ условиям труда;
- недостаточно развитая система мотивации за соблюдение требований безопасности.

Пути совершенствования культуры безопасности труда

Для повышения уровня культуры безопасности труда на нефтехимических предприятиях целесообразно:

- внедрять практико-ориентированные формы обучения и регулярные тренировки;
- проводить анализ и разбор реальных и потенциально опасных производственных ситуаций;
- совершенствовать систему материального и нематериального стимулирования работников;
- развивать культуру личной ответственности и вовлечённости персонала;
- обеспечивать постоянную обратную связь между руководством и работниками.

Результаты исследования

В результате проведённого социологического опроса работников нефтехимических предприятий ПНХЗ и ТОО «Компания Нефтехим LTD» получены данные, характеризующие уровень сформированности культуры безопасности труда.

Анализ ответов на вопрос об общем уровне безопасности труда показал, что на обоих предприятиях преобладают оценки «достаточный» и «очень высокий». При этом на ПНХЗ зафиксированы отдельные ответы, указывающие на средний уровень безопасности и необходимость его улучшения, что свидетельствует о наличии отдельных проблемных зон.

На предприятии ТОО «Компания Нефтехим LTD» большинство респондентов оценивают уровень безопасности как достаточный, однако также присутствуют оценки «требуется улучшения», что указывает на необходимость дальнейшего развития культуры безопасности труда и совершенствования профилактических мероприятий.

Полученные результаты подтверждают, что, несмотря на в целом положительную оценку системы охраны труда, на предприятиях сохраняется потребность в усилении

практико-ориентированного обучения, повышении мотивации работников и развитии их личной ответственности за соблюдение требований безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трудовой кодекс Республики Казахстан. – Астана: Юрист, действующая редакция.
2. Закон Республики Казахстан «О гражданской защите». – Астана, действующая редакция.
3. Абдрахманов Н.Х. Охрана труда и промышленная безопасность на опасных производственных объектах. – Алматы: КазНТУ, 2019. – 256 с.
4. Бобров А.В. Культура безопасности труда: теория и практика формирования. – М.: Академия, 2018. – 240 с.
5. Власов В.М. Управление профессиональными рисками на промышленных предприятиях. – М.: Инфра-М, 2020. – 312 с.
6. Иванов И.И., Петров П.П. Промышленная безопасность в нефтехимической отрасли. – СПб.: Профессия, 2019. – 280 с.
7. Карпов А.Н. Человеческий фактор и культура безопасности на производстве // Охрана труда и социальное страхование. – 2021. – №4. – С. 12–18.
8. Лаптев С.А. Организация обучения и инструктажей по охране труда. – М.: Проспект, 2020. – 192 с.
9. СТ РК ISO 45001–2019. Системы менеджмента охраны здоровья и безопасности труда. Требования и руководство по применению. – Астана.
10. Правила обучения, инструктажа и проверки знаний по вопросам охраны труда (утв. уполномоченным органом РК). – Астана, действующая редакция.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18608273>
УДК 621.47

СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ И ЕГО ПОЛЬЗУ НАСЕЛЕНИЯ

КАЛАНДАРОВ НУРУЛЛО АБДУГАФОРОВИЧ

Бохтарский государственный университет имени Носира Хусрава, Таджикистан.

Аннотация: в данной статье рассматривается роль солнечной энергетики в современном обществе и её влияние на качество жизни населения. Проанализированы основные преимущества использования солнечных панелей (фотоэлектрических систем) для частных домохозяйств. Особое внимание уделяется трем ключевым аспектам: экономической выгоде за счет снижения затрат на электроэнергию, обеспечению энергетической независимости в районах с нестабильным электроснабжением и экологической безопасности. В работе обосновывается, что массовое внедрение солнечных панелей способствует не только сохранению окружающей среды, но и устойчивому социально-экономическому развитию регионов.

Ключевые слова: Солнечная энергетика, солнечные панели, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), энергосбережение, экология, энергетическая безопасность, население, «зеленая» экономика.

This article discusses the role of solar energy in modern society and its impact on the quality of life of the population. The main advantages of using solar panels (photovoltaic systems) for private households are analyzed. Particular attention is paid to three key aspects: economic benefits through reduced electricity costs, ensuring energy independence in areas with unstable power supply, and environmental safety. The paper substantiates that the widespread implementation of solar panels contributes not only to environmental preservation but also to the sustainable socio-economic development of regions.

Keywords: Solar energy, solar panels, renewable energy sources (RES), energy saving, ecology, energy security, population, green economy.

Солнечная энергетика использует Солнце, возобновляемый источник энергии, и является «экологически чистой», то есть не производящей вредных отходов во время активной фазы использования. Производство энергии с помощью солнечных электростанций хорошо согласовывается с концепцией распределённого производства энергии.

Гелио термальная энергетика — нагревание поверхности, поглощающей солнечные лучи, и последующее распределение и использование тепла (фокусирование солнечного излучения на сосуде с водой или солью для последующего использования нагретой воды для отопления, горячего водоснабжения или в паровых электрогенераторах).

Получение электроэнергии за счёт преобразования солнечного света называется солнечной генерацией. В 2024 году с помощью солнечных батарей в мире было произведено 2000 ТВт электроэнергии, что составило 7% от общей произведённой электроэнергии в мире. В 2023 году солнечная генерация произвела 5% электроэнергии в мире^[3]. В июне 2025 года солнечная генерация произвела 22.1% электроэнергии в странах ЕС, впервые превысив генерацию атомных электростанций

Поток солнечного излучения, проходящий через площадку в 1 м², расположенную перпендикулярно потоку излучения на расстоянии одной астрономической единицы от центра Солнца (на входе в атмосферу Земли), равен 1367 Вт/м² (солнечная постоянная). Из-за поглощения, при прохождении атмосферной массы Земли, максимальный поток солнечного излучения на уровне моря (на Экваторе) — 1020 Вт/м². Однако среднесуточное значение потока солнечного излучения через единичную горизонтальную площадку как

минимум в π раза меньше (из-за смены дня и ночи и изменения угла солнца над горизонтом). Зимой в умеренных широтах это значение в два раза меньше.

Важнейшим источником энергии для нашей планеты является Солнце. Всего за 40 минут оно способно обеспечить энергетические потребности населения Земли на целый год вперед. А с учетом того, что наше светило предоставляет фактически неисчерпаемые ресурсы, их использование становится весьма перспективным. К тому же, солнечная энергия считается наиболее безопасной и экологичной, а потому и все более востребованной в различных областях человеческой деятельности.

Извлекать конкретную пользу от энергии Солнца позволяют специальные устройства — солнечные батареи. Они представляют собой плоские панели, преобразующие солнечное излучение в электроэнергию. Популярность использования этих устройств с каждым годом растет.

Установка нескольких блоков таких панелей должна решать основную задачу — преобразование энергии Солнца в электрическую и обеспечение ею жилых и промышленных объектов без использования централизованной электросети. На данный момент использование солнечных батарей является наиболее эффективным и при этом экологически чистым способом превращения света в электроток. Все остальные альтернативные источники электроэнергии дают куда меньшую эффективность.

Каждая панель состоит из модулей с фотоэлементами, способными поглощать солнечное излучение и преобразовывать его в электрический ток с напряжением 220 В.

Существует несколько форм солнечных батарей. Чаще всего эти изделия имеют вид прямоугольников размером с лист шифера. Каждая такая панель вмещает 36 фотоэлементов, покрытых специальной пленкой или стеклом. Принцип действия устройства следующий. Солнечное излучение образует свободные электроны, которые проникают в панель через соединения и специальные туннели, накапливаясь внутри батареи в виде постоянного тока.

Как только этот ток достигает нужного значения, он преобразуется в переменный с напряжением в 220 В. Для этих целей используется инвертор. Чтобы обеспечить электрической энергией один дом хотя бы частично, требуется установка нескольких таких панелей.

Сама идея использования бесплатной и безграничной солнечной энергии витала в умах человечества еще в давние времена. Впервые она была реализована в виде солнечных коллекторов (термальных электростанций), принцип работы которых существенно отличался от современных батарей. Вторая реализация уже представляла собой солнечные панели в нынешнем их виде. Эта попытка была достаточно удачной, давшей возможность массово обеспечивать электричеством самые разные объекты.

Несмотря на относительно короткий срок существования солнечной энергетики, она является следствием множества открытий и разработок. Но ключевым событием в области использования энергии Солнца послужило открытие явления фотоэлектрического элемента в середине позапрошлого века французским ученым Александром Эдмоном Беккерелем.

Позднее, в 1873 году, английским инженером Уиллоби Смитом был подмечен эффект фотопроводимости в селене. Наконец, спустя еще несколько лет был создан первый фотоэлемент. Американский изобретатель Чарльз Фриттс использовал для этого тонкий слой селена, расположив его между золотой и медной пластинами. КПД устройства, правда, составлял всего 1%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Калифорнийская электростанция «Million Solar Roofs» суммарной мощностью 3 ГВт Архивная копия от 6 октября 2014 на Wayback Machine 15.12.2005
2. Геополитика солнца. Частный корреспондент (22 ноября 2008). Дата обращения: 22 ноября 2008. Архивировано 22 августа 2011 года.
3. Executive summary – Electricity 2025 – Analysis (брит. англ.). IEA. Дата обращения: 12 мая 2025.
4. Peverieri, Anna (9 июля 2025). Solar tops EU power mix for first time in June, Ember says. Reuters (англ.). Дата обращения: 10 июля 2025.
5. Лапаева Ольга Федоровна. Трансформация энергетического сектора экономики при переходе к энергосберегающим технологиям и возобновляемым источникам энергии // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2010. — Вып. 13 (119). Архивировано 6 августа 2016 года.
6. 15 % солнечных электростанций в Германии необходимо менять из-за раннего старения, на их замену необходимо 2 млрд евро
7. David Szondy. Stanford researchers develop self-cooling solar cells. (англ.). gizmag.com (25 июля 2014). Дата обращения: 6 июня 2016. Архивировано 23 мая 2016 года.
8. BP Statistical Review of World Energy June 2015, Renewables section (PDF). BP. Июнь 2015. Архивировано (PDF) 7 июля 2015. Дата обращения: 25 сентября 2015.
9. BP Statistical Review of World Energy June 2015, Electricity section (PDF). BP. Июнь 2015. Архивировано (PDF) 23 сентября 2015. Дата обращения: 25 сентября 2015.
10. Статистическое обозрение Всемирной энергетической организации 2017 года. BP. Июнь 2017. Архивировано 6 декабря 2018. Дата обращения: 27 января 2018.
11. Солнечные технологии обеспечат четверть электричества.
12. Дмитрий Никитин. Трудный путь к солнцу: согреть ли Россию солнечная энергетика. РБК (17 июня 2013). Дата обращения: 15 июня 2013. Архивировано из оригинала 20 июня 2013 года.
13. Stephen Lacey Green Jobs Are Real: German and American Solar Industry Both Employ More People Than U.S. Steel Production 17 Июнь 2011 г. Дата обращения: 30 июня 2011. Архивировано 17 июня 2013 года.
14. Graph of the Day: World's top ten solar PV suppliers. 15 April 2013 // RE neweconomy
15. Renewables 2014 Global Status Report. Дата обращения: 23 июня 2014. Архивировано из оригинала 12 ноября 2020 года.
16. Геро Рютер, Андрей Гурков. Мировая солнечная энергетика: переломный год. Deutsche Welle (29 мая 2013). Дата обращения: 15 июня 2013. Архивировано 19 июня 2013 года.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18608311>

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ЗОХИРОВА ШАХНОЗА МУРОДИЛЛАЕВНА

Старший преподаватель, Каршинский гос. Университет, Узбекистан

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы проектирования и технико-экономического анализа систем теплоснабжения и горячего водоснабжения с использованием солнечных коллекторов. Представлены конструктивные особенности плоских солнечных коллекторов, принципы их работы и область применения в системах теплоснабжения. Особое внимание уделено методике определения годовых тепловых нагрузок на отопление и горячее водоснабжение с учетом климатических условий и нормативных требований. Рассмотрена методика расчета приведенных затрат потребителя с учетом стоимости топлива, коэффициентов полезного использования энергоносителя, потерь при транспортировке, хранении и распределении тепловой энергии.

Ключевые слова: солнечный коллектор, система теплоснабжения, горячее водоснабжение, тепловая нагрузка, технико-экономический анализ, энергоэффективность, возобновляемые источники энергии.

Введение. Основным энергетическим преобразующим элементом в системе горячего водоснабжения является солнечный коллектор (СК), конструкция которого представлена на рис.1. Абсорбер представляет собой совокупность плоской лучепоглощающей поверхности, имеющей надежный контакт с рядом труб или каналов для продвижения нагреваемого теплоносителя. Для лучшего поглощения солнечной энергии верхняя поверхность абсорбера должна быть окрашена в черный цвет или иметь специальное поглощающее покрытие. Для снижения тепловых потерь от абсорбера в окружающее пространство применяется тепловая изоляция и остекление, размещаемое над абсорбером на определенном расстоянии от него. Максимальная температура, до которой можно нагреть теплоноситель в плоском коллекторе составляет 80–90⁰С и зависит от климатических данных, от характеристик коллектора и условий его эксплуатации. Преимущество плоского коллектора состоит в том, что может улавливать как прямую, так и диффузную радиацию [1].

Абсорбер изготавливается из металла с высокой теплопроводностью (сталь, алюминий, медь, возможно применение сплавов). Для низких рабочих температур абсорбер можно изготовить из пластмассы или резины.

Прозрачная изоляция представляет собой один или два слоя стекла или полимерной пленки, допускается использовать комбинацию из наружного слоя стекла и внутреннего слоя полимерной пленки. В случае низкой температуры нагрева теплоносителя (до 30⁰С) коллектор может вовсе не иметь прозрачной изоляции. Корпус коллектора может быть изготовлен из оцинкованного железа, алюминия, дерева, пластмассы. В качестве тепловой изоляции могут применяться минеральная вата, пенополиуретан и т.п.[1]

Материалы и методы. Существуют разнообразные конструкции «плоских» СК. В проектировании системы теплоснабжения руководствуются нормативными материалами, ГОСТом, правилами монтажа и эксплуатации сооружений систем горячего теплоснабжения, оптимальными материальными и энергетическими затратами.

СК представлен на рис.1, его работа основана на принципе «горячего ящика».

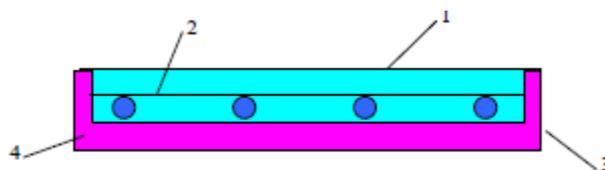


Рис. 1. Принципиальная схема солнечного коллектора:
1 – остекление; 2 – абсорбер; 3 – корпус; 4 – теплоизоляция

В большинстве случаев особенностями эксплуатации установки являются критерии обоснования принципиальной схемы, которая должна обеспечивать максимальные эффективность работы и простоту обслуживания. Ниже приведена схема одной из действующих в течение 10 лет систем, а именно системы сезонного режима работы для горячего водоснабжения технологических нужд, столовой и душевых грузовой автобазы[1].

Принципиальная схема установки показана на рис.2.

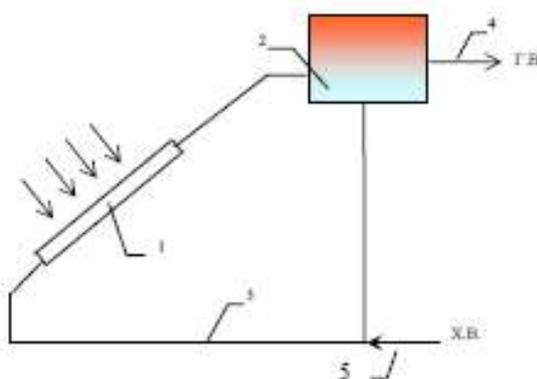


Рис.2. Принципиальная схема установки: 1 – солнечный коллектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – трубопроводы; 4 – подача воды потребителю; 5 – подвод холодной воды

Гелиоустановка состоит из коллекторного поля 1, бака-аккумулятора 2, трубопроводов 3, системы разбора горячей воды 4, дозированной подачи холодной воды 5. Для отключения коллекторного поля в зимний период, перекрывают холодную воду и разгерметизируют систему. Для предотвращения возникновения избыточного давления в системе предусмотрено расширительное устройство, совмещенное с баком-аккумулятором, который одновременно служит клапаном стравливания воздуха в процессе заполнения системы.

Установка работает следующим образом: контур системы под давлением водопроводной сети заполнен рабочей жидкостью (теплоносителем), заполненная система находится в равновесном состоянии, под воздействием солнечной радиации теплоноситель нагревается. Нагретый теплоноситель расширяясь поднимается в верхние слои бака аккумулятора, нижний слой бака-аккумулятора с холодной жидкостью создает давление и заполняет коллекторное поле. Нагревая солнечными лучами в коллекторе, теплоноситель обеспечивает естественную циркуляцию, что в процессе достигает до максимальной температуры воды в баке-аккумуляторе. Расход горячей рабочей жидкости из бака регулируют при помощи вентиля [1,2].

В условиях рыночных экономических отношений потребитель самостоятельно определяет средства системы теплоснабжения, руководствуясь в процессе проектирования минимальными материальными и энергетическими затратами. Определяют комплекс затраты по результату технико-экономических расчетов (ТЭР), которые проводят по методикам [1, 2, 3] и рассчитывают:

- определяют потребляемую мощность системы теплоснабжения;
- устанавливают источник теплоснабжения, вид и параметры теплоносителя;
- определяют режим работы и принципы управления системой теплоснабжения;

- осуществляют подбор оборудования и отопительных приборов;
- рассчитывают материальные затраты.

По результату ТЭР принимают решение в определениях материалоемкости, стоимости и эксплуатационных затратах.

Результаты и обсуждение. Рассмотренные методики [4,5,6] не включают такие немаловажные пункты, как экологические и социальные аспекты систем теплоснабжения. В последнее время проблемы воздействия топливно энергетического комплекса на окружающую среду становятся с каждым годом более актуальными и не учитывать их материально финансовую составляющую нельзя.

На первом этапе технико-экономических расчетов определяют по нормативным или экспериментальным данным тепловую нагрузку [4] за расчетный период:

$$Q^{\text{год}} = Q_{\text{от}}^{\text{год}} + Q_{\text{гв}}^{\text{год}} \quad (1)$$

где $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$ – расчетная тепловая нагрузка на отопление, кДж;

$Q_{\text{гв}}^{\text{год}}$ – расчетная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение, кДж.

Годовые расходы теплоты на отопление [6] рекомендуется определять по формулам:

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 24 \cdot Q_{\text{от}} \cdot P_{\text{от}} \cdot \left(\frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ср.о}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}}} \right) \quad (2)$$

где $Q_{\text{от}}$ – расчетные часовые расходы тепла на отопление, кДж/ч;

$P_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода, сут.;

$t_{\text{вн}}$ – внутренняя температура в помещении, °С;

$t_{\text{ср.о}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

$t_{\text{р.о}}$ – расчетная температура наружного воздуха за отопительный период, °С.

Расчетные данные: $t_{\text{вн}} = 20^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ср.о}} = -1^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{р.о}} = -18^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{от}} = 180$ сут, $Q_{\text{от}} = 91,5$ кДж/ч, $q = 0,5$ кДж/(м³·ч·°С), $V = 4500$ м³.

Составляющие $P_{\text{от}}$, $t_{\text{ср.о}}$, $t_{\text{р.о}}$ – принимаются в соответствии со СНиП [3]. Расчетные часовые расходы тепла на отопление можно определить по укрупненным показателям:

$$Q_{\text{от}} = 1,07 \cdot q \cdot V \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о}}) \quad (3)$$

где q – удельная тепловая характеристика здания, кДж/(м³·ч·°С);

V – объем здания, м³.

$$Q_{\text{от}} = 1,07 \cdot 0,5 \cdot 4500 \cdot (20 - (-18)) = 91,5 \text{ кДж/ч}$$

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 24 \cdot 91,5 \cdot 180 \cdot \frac{(20 - (-1))}{(20 - (-18))} \approx 4,8 \cdot 10^6 \text{ кДж}$$

Годовой расход тепла на горячее водоснабжение жилых зданий [5] определяется по формуле:

$$Q_{\text{гв}}^{\text{год}} = 24 \cdot Q_{\text{гв}}^{\text{ср}} \cdot P_{\text{от}} + 24 \cdot Q_{\text{гв}}^{\text{ср}} \cdot \frac{55 - t_{\text{хл}}}{55 - t_{\text{хз}}} \cdot \beta \cdot (P_{\text{гв}} - P_{\text{от}}) \quad (4)$$

Где $Q_{\text{гв}}^{\text{ср}}$ – среднегодовой расход тепла за отопительный период на горячее водоснабжение, кДж;

β – коэффициент, учитывающий изменение часового расхода воды на горячее водоснабжение в летний период, для южных городов $\beta = 1,5$;

$P_{\text{гв}}$ – период работы системы горячего водоснабжения, сут.

$q_m^h = 0,5$ м³/ч, температура холодной воды: $t_{\text{хл}} = 15^{\circ}\text{C}$, температура горячей воды: $t_{\text{хз}} = 55^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{гв}} = 365$ сут, $K^t = 0,1$

$$Q_{\text{гв}}^{\text{ср}} = 1,16 q_m^h (55 - t_{\text{х}}) (1 + K^t) \quad (5)$$

$$Q_{\text{гв}}^{\text{ср}} = 1,16 \cdot 0,5 \cdot (55 - 15) \cdot (1 + 0,1) \approx 25,5 \text{ кДж/ч}$$

Где q_m^h – средний часовой расход горячей воды, м³/ч;

K^t – коэффициент, учитывающий потери теплоты трубами.

$$Q_{\text{гв}}^{\text{год}} = 24 \cdot 25,5 \cdot 180 + 24 \cdot 25,5 \cdot \frac{(55 - 15)}{(55 - 55)} \cdot 1,5 \cdot (365 - 180) \approx 1,9 \cdot 10^6 \text{ кДж}$$

$$Q^{\text{год}} = Q_{\text{от}}^{\text{год}} + Q_{\text{гв}}^{\text{год}} = 4,8 \cdot 10^6 + 1,9 \cdot 10^6 \approx 6,7 \cdot 10^6 \text{ кДж}$$

$$q_m^h = q_{u.m}^h \frac{U}{24000} \quad (6)$$

где $q_{u.m}^h$ – норма расхода горячей воды в среднем за сутки отопительного периода, л/сут;

U – число потребителей.

На втором этапе определяют годовой расход топлива [6] $B^{\text{год}}$:

$$B^{\text{год}} = \frac{Q^{\text{год}}}{\eta_u^{cp} \cdot Q_p^m} \quad (7)$$

Где Q_p^m – низшая теплота сгорания топлива, ГДж/т;

η_u^{cp} – среднегодовой эксплуатационный коэффициент полезного использования энергоносителя, учитывающий потери при транспортировке, хранении, преобразовании в теплогенерирующей установке и системе распределения тепловой энергии.

$$\eta_u^{cp} = \eta_{mx} \cdot \eta_{mgy} \cdot \eta_{mc} \quad (8)$$

где η_{mx} – коэффициент, учитывающий потери энергоносителя при транспортировке и хранении;

η_{mgy} – среднегодовой эксплуатационный КПД теплогенерирующей установки (ТГУ);

η_{mc} – коэффициент, характеризующий потери тепловой энергии в теплоразводящих системах теплоснабжения.

Затем определяются приведенные затраты потребителя Π_{Σ}^n на систему теплоснабжения, которые состоят из капитальных вложений и эксплуатационных затрат:

$$\Pi_{\Sigma}^n = E_n \cdot K_{mc} \cdot \Delta_{mc} \quad (9)$$

где E_n – коэффициент эффективности капитальных вложений, равный $E_n=0,15$;

K_{mc} – капитальные вложения в систему теплоснабжения, сум; $K_{mc}=120 \cdot 10^6$ сум

Δ_{mc} – ежегодные эксплуатационные расходы, сум. $\Delta_{mc}=18 \cdot 10^6$ сум

$$\Pi_{\Sigma}^n = 0,15 \cdot 120 \cdot 10^6 + 18 \cdot 10^6 = 36 \cdot 10^6 \text{ сум}$$

$$K_{mc} = K_{mgy} + K_{bo} + K_m \quad (10)$$

$$\Delta_{mc} = I_{\text{эн}}^m + I_{mc} \quad (11)$$

где K_{mgy} – стоимость сооружения или приобретения ТГУ, сум;

K_{bo} – стоимость вспомогательного оборудования, сум;

K_m – стоимость монтажа ТГУ, равная суммарной стоимости ТГУ и вспомогательного оборудования, сум;

$I_{\text{эн}}^m$ – приведенные затраты на энергоноситель с учетом транспортирования и хранения, сум;

I_{mc} – ежегодные эксплуатационные расходы на ремонт и обслуживание оборудования системы теплоснабжения, составляющие 10% от суммарной стоимости ТГУ и вспомогательного оборудования, сум.

$$I_{\text{эн}}^m = (C_{\text{уд}}^m + C_{\text{уд}}^{mp}) \cdot B^{\text{год}} \cdot \varphi \quad (12)$$

где $C_{\text{уд}}^m$ – удельная стоимость топлива, сум/т;

$C_{\text{уд}}^{mp}$ – удельная стоимость транспортировки топлива, составляющая 5% от удельной стоимости топлива, сум/т;

φ – коэффициент, учитывающий вероятность получения экономии топлива, $\varphi=0,8$.

В результате проведенных расчетов были определены годовые тепловые нагрузки на отопление и горячее водоснабжение, а также основные технико-экономические показатели системы теплоснабжения. Анализ показал, что наибольшая доля тепловой энергии приходится на отопительный период, что подтверждает целесообразность использования солнечных коллекторов в комбинированных системах теплоснабжения.

Полученные результаты подтверждают, что использование солнечных коллекторов является перспективным решением для повышения энергоэффективности и экономической привлекательности систем теплоснабжения и горячего водоснабжения.

Выводы. В работе рассмотрена методика технико-экономических расчетов систем теплоснабжения и горячего водоснабжения с использованием солнечных коллекторов. Определены тепловые нагрузки, выполнен расчет капитальных и эксплуатационных затрат. Результаты анализа показывают, что применение солнечных коллекторов способствует снижению расхода традиционных энергоносителей и повышению энергоэффективности системы теплоснабжения. Использование солнечной энергии является экономически целесообразным и перспективным направлением в современных условиях.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов В.В. Система солнечного горячего водоснабжения сезонного режима: Методическое руководство к курсовому проекту. Бишкек: КРСУ, 2011. 28 с.
2. Староверов И.Г. Справочник проектировщика. М., 1990.
3. СНиП 11-34-76 Горячее водоснабжение.
4. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения// Пер.с англ.М.: Энергоиздат, 1982.
5. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения// Под ред. Э.В.Сарнацкого, С.А. Чистовича. М.: Стройиздат, 1990.
6. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. М.: Энергоатомиздат, 1991.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18608337>
УДК 621.6

**QAZ KƏMƏRLƏRİNDƏ QEYRİ-STASİONAR AXIN ŞƏRAİTİNDƏ
SIZMALARIN AŞKARLANMASI VƏ AVTOMATİK KLAPANLARIN
BAĞLANMA VAXTININ
OPTİMALLAŞDIRILMASI ÜÇÜN ANALİTİK MODEL**

ƏLİYEV İLQAR QİYAS OĞLU

BQİR kafedrasının müdiri, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan

YUSİFOV MAARİF ZABİT OĞLU

BQİR kafedrasının dosenti, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan

MƏMMƏDOV ASƏF ŞANXAY OĞLU

BQİR kafedrasının assistenti, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı,
Azərbaycan

Xülasə: Tədqiq olunan işdə qaz kəmərlərində baş verən sızmalar zamanı yaranan qeyri-stasionar axın proseslərinin riyazi modelləşdirilməsi və avtomatik klapanların optimal bağlanma vaxtının təyini üçün yeni analitik yanaşma təqdim olunur. Tədqiqat çərçivəsində qaz kəmərinə təzyiqin zamana görə dəyişməsinə təsvir edən analitik funksiya əldə edilmiş, sızma nöqtəsinin məsafəsi və dalğanın yayılması zamanı baş verən zəiflətmə effektləri nəzərə alınmaqla bağlanma vaxtının hesablanması üçün ümumiləşdirilmiş metodoloji çərçivə formalaşdırılmışdır. Klapanların işə düşməsi üçün iki əsas kriteriya təhlil edilmişdir: təzyiq azalmasının sürətinin kritik həddi aşması və ya təzyiqin başlanğıc səviyyəsindəki dəyərinin 0.8 hissəsi qədər azalması. Aparılan analitik və nümunəvi hesablamalar göstərir ki, təzyiqin azalması sürəti üzrə meyar demək olar ki, dərhal təmin olunsa da, klapanın faktiki işə düşməsində həlledici rol məhz nisbi təzyiq düşümü kriteriyasına məxsusdur. Hesablamalara əsasən, sızma nöqtəsi qaz kəmərinin orta hissəsinə yaxın məsafədə yerləşdikdə avtomatik bağlanma vaxtı təxminən 400 saniyə təşkil edir; məsafənin azalması bu vaxtı qısaldır, artması isə bəzi hallarda tələb olunan təzyiq azalmasının verilmiş zaman intervalında baş verməməsinə səbəb olur. Bundan əlavə, məsafədən asılı zəiflətmə əmsali üçün güc tipli analitik asılılıq qurulmuş və klapanların bağlanma vaxtının məsafə üzrə dəyişməsi qrafiklə təhlil edilmişdir. Təklif olunan model qaz kəmərlərində sızmaların operativ aşkarlanması, qəza hallarının erkən mərhələdə lokallaşdırılması və avtomatik klapanların koordinasiya idarə olunmasının optimallaşdırılması baxımından mühüm praktik əhəmiyyətə malikdir. Alınmış nəticələr göstərir ki, klapanların optimal və koordinasiya bağlanması qaz itkisini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır və boru kəməri sistemlərinin istismar təhlükəsizliyini yüksəldir.

Açar sözlər: qaz kəmərlərində sızmaların aşkarlanması; avtomatik klapanların bağlanma vaxtı; təzyiq dalğalarının yayılması; qəza rejimlərinin modelləşdirilməsi; qaz kəməri təhlükəsizliyi; real-time monitoring

1. Giriş. Qaz təchizatı sistemlərinin rekonstruksiyası əsasən mövcud boru kəməri infrastrukturunun müasirləşdirilməsini, qazötürmə qabiliyyətinin artırılmasını, yüksək etibarlığın təmin edilməsini və avadanlıqların istismar səmərəliliyinin yüksəldilməsini nəzərdə tutur. Rekonstruksiyanın ən səmərəli yanaşmalarından biri mənəvi və fiziki cəhətdən köhnəlmiş avadanlıqların müasir sənaye standartlarına cavab verən, yüksək səmərəli və təhlükəsiz sistemlərlə əvəz olunmasıdır. Bu strategiya kəmərlərin məhsuldarlığını artırmağa yönəlmişdir və yeni istismar komponentlərinin tətbiqini də özündə ehtiva edir [1,2,10].

Bu komponentlər arasında magistral qaz kəmərlərində istifadə olunan qəza avtomatik bağlanma klapanları (QABK) xüsusi diqqət mərkəzindədir. Onların əsas funksiyası qəfil boru kəməri qırılmaları zamanı fəlakətli nəticələrə biləcək hadisələrin qarşısını almaqdır. Belə

klapanların iş prinsipi təzyiğin azalmasının sürətini izləməyə əsaslanır. Xüsusilə, təzyiğin azalması dəqiqədə 0,1 MPa-dan çox olduqda, müvafiq idarəetmə klapanı avtomatik olaraq bağlanma mexanizmini işə salır. Bu azalma ilkin sabit təzyiqlə tam qırılmadan sonra yaranan vaxtdan asılı təzyiq enməsi arasındakı fərqlə hesablanır [14,15].

Empirik müşahidələr göstərmişdir ki, ciddi qırılmalar zamanı təzyiğin azalma sürəti dəqiqədə 0,2–0,5 MPa-a qədər çata bilər. Nəticədə, QABK-ların daha aşağı təzyiq azalma sürətlərində də etibarlı işləməsini təmin edən yeni iş prinsiplərinin işlənilib hazırlanması, xüsusilə mürəkkəb qaz kəməri sistemlərinin rekonstruksiyasında təxirəsalınmaz vəzifədir [7,8]. Ənənəvi mexaniki bağlanma klapanları xarici enerji mənbələrindən asılı olmasalar da, yüksək istismar və kalibrəmə xərcləri tələb edir. Müasir elektron bağlanma klapanları isə daha ucuzdur, IoT əsaslı davamlı təzyiq sensorları ilə təchiz olunur və kifayət qədər etibarlı fəaliyyət göstərir. Lakin onların aktivləşməsi hələ də yalnız lokal təzyiğin azalmasına əsaslandığı üçün mürəkkəb şəbəkə topologiyalarında gecikmiş və ya səmərəsiz reaksiyalara səbəb ola bilər.

Son tədqiqatlarda daha qabaqcıl və adaptiv idarəetmə sistemlərinin vacibliyi vurğulanmışdır. Məsələn, Zhao və b. [3] təbii qaz kəmərlərinin marşrut seçimi üçün çoxməqsədli optimallaşdırma metodunu işləyib hazırlamış, planlaşdırma mərhələsində real vaxt istismar meyarlarının əhəmiyyətini ön plana çıxarmışdır. Qiao və b. [5] isə qaz tələbinin proqnozlaşdırılması üzrə geniş icmal təqdim etmiş və müasir kəmərlər idarəetməsində dinamik proqnozlaşdırma və sistem reaksiyasının inteqrasiyasının vacibliyini göstərmişdir. Bundan əlavə, şaxələnmiş və natamam yüklənmiş şəbəkələr [7,9] və qeyri-stasionar rejimlərin idarə olunması [13] sahəsində aparılan tədqiqatlar sızmaların erkən aşkarlanması və dəyişkən tələblər altında etibarlı istismar üçün qabaqcıl modelləşdirmə üsullarının əhəmiyyətini təsdiq etmişdir.

Bir sıra tədqiqatçılar təzyiq dinamikası və qaz axınının qeyri-stasionar rejimdə modelləşdirilməsi ilə məşğul olmuşlar ki, bu da kəmərlərinin rekonstruksiyası və dispetçer optimallaşdırılması üçün əsas şərtədir [6,8,12]. Xüsusilə, dinamik axın modelləşdirməsi [9,13], idarəetmə sistemlərinin avtomatlaşdırılması [11] və dəyişən tələb şəraitində optimallaşdırma [12] qazpaylama etibarlığının yüksəldilməsi üçün baza yaratmışdır.

Bu məqalədə təqdim olunan tədqiqat ənənəvi QABK prinsiplərinin məhdudiyyətlərini aradan qaldırmağa yönəlmişdir. Burada yenilik ondadır ki, QABK-ların aktivləşmə məntiqi yenidən müəyyənləşdirilir: ayrı-ayrı sensorlardan asılı olmaq əvəzinə, sızma nöqtəsinin hər iki tərəfində yerləşən klapanların mərkəzləşdirilmiş təzyiq impulsu signalına əsasən eyni vaxtda bağlanması təklif olunur. Bu yanaşma zədələnmiş hissənin daha sürətli izolə edilməsini və paralel kəmərlər vasitəsilə istehlakçılara qazın fasiləsiz çatdırılmasını təmin edir.

Bu konsepsiyayı dəstəkləmək üçün qeyri-stasionar qaz dinamikasına əsaslanan analitik çərçivə işlənilib hazırlanmışdır. Burada təzyiq və kütlə sərfinin dəyişməsini təsvir edən differensial tənliklər sistemi, Laplas çevirməsi metodları və empirik təsdiqetmə ilə birləşdirilir. Model etibarlı klapan işini təmin etmək üçün bağlanma vaxtını, təzyiq paylanmasını və kalibrəmə parametrlərini hesablamağa imkan verir.

Beləliklə, bu iş rekonstruksiya olunmuş qaz kəməri sistemlərinin idarə olunmasının yaxşılaşdırılması, qaz itkilərinin azaldılması və qəza hallarda təhlükəsizlik və fasiləsizliyi artırmaq üçün nəzəri və praktik əsas təqdim edir.

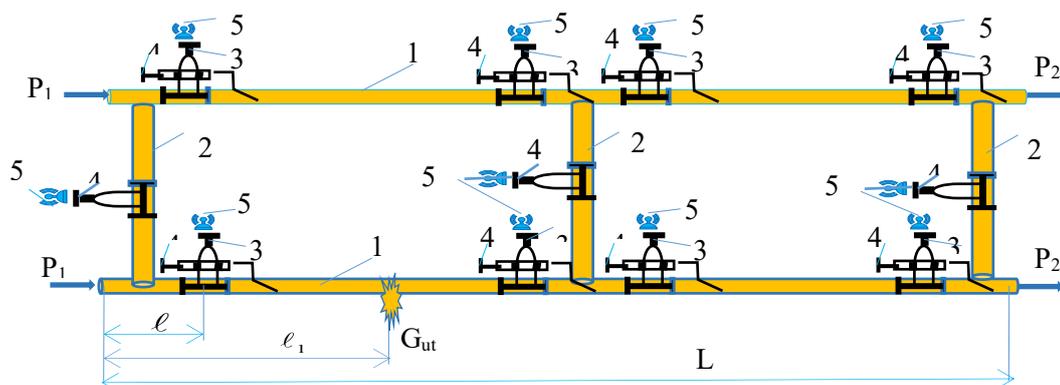
2. Materiallar və metodlar. Bu bölmədə mürəkkəb qaz kəməri sistemlərinin sızma şəraitində davranışını təhlil etmək üçün istifadə olunan nəzəri çərçivə, riyazi model və simulyasiya parametrləri təqdim olunur.

Teorik model və konseptual çərçivə.

Ənənəvi düzxətli qaz kəmərlərində qəza bağlanma klapanları (QABK) adətən yalnız lokal təzyiq azalma sürətinə əsasən ayrıca işə düşür. Lakin belə yanaşma şaxələnmiş və paralel kəmərlərdən ibarət mürəkkəb qazpaylama sistemlərində, xüsusilə də qeyri-stasionar axın rejimlərində kifayət qədər effektiv deyil. Bu cür şəbəkələrdə həddindən artıq qaz itkisini qarşısını almaq və istehlakçılara fasiləsiz təchizatı təmin etmək üçün koordinasiyalı reaksiya strategiyaları tələb olunur.

Bu tədqiqatda təklif olunan model paralel qaz kəmərləri arasındakı dinamik qarşılıqlı təsirləri nəzərə alan yeni konsepsiyani təqdim edir. Şəkil 1-də göstəriləyi kimi, paralel boru kəməri sistemi müxtəlif strateji yerlərdə quraşdırılmış QABK-lar və birləşdirici xətlər ilə təchiz olunmuşdur.

Şəkildən göründüyü kimi, kəmərin başlanğıcı və sonundakı birləşdirici xətlərdən (əlaqələndiricidən) başqa, hər bir birləşdirici xəttin (əlaqələndiricinin) yanında iki avtomatik klapın yerləşdirilir – biri sağda, digəri isə solda. Lakin qəza vəziyyəti yarandıqda, yalnız bir tərəfdəki klapın işləməsi kifayət edir. Digər tərəfdən, qaz itkisini minimuma endirmək üçün sızma nöqtəsinin hər iki tərəfindəki avtomatik klapın eyni vaxtda bağlanmalıdır. Bu səbəbdən ənənəvi yanaşma - hər bir klapın yalnız lokal təzyiq azalmasına əsaslanaraq ayrıca işləməsi - uyğun deyil. QABK-ların təzyiq sensorları mərkəzləşdirilmiş şəkildə bir nöqtəyə bağlanmalı, nəticədə sızma baş verdikdə hər iki tərəfdəki klapın sinxron şəkildə bağlanmalıdır.



Şəkil 1. Mürəkkəb qaz kəmərlərində qəza avtomatik klapınların səmərəli yerləşdirilməsi sxemi.

1- paralel qaz kəmərinin boru xətti, 2- paralel boru xəttinin əlaqələndirici xətti, 3- qəza avtomatik bağlayıcı kranları işə salan klapınlar, 4- qəza avtomatik bağlayıcı kranlar (QABK), L- qaz kəmərinin uzunluğu, l- kəmərin başlanğıcından qəzadan öndə yerləşən klapına qədər məsafə, l_1 -kəmərin başlanğıcından qəza nöqtəsinə qədər məsafə, G_{uz} ($x=l_1$) nöqtəsində kipliyi pozulan boru xəttindən sızan qaz kütləsi, P_1 və P_2 - qaz kəmərinin uyğun olaraq başlanğıcı və son hissəsində stasionar rejimdə qaz axının təzyiqi.

Beləliklə, Şəkil 1-ə əsasən, qəza avtomatik klapınların effektiv işləməsini təmin etmək üçün qaz kəmərinin başlanğıcından etibarən hər bir birləşdirici xəttin sağ tərəfindəki və növbəti xəttin sol tərəfindəki klapınların eyni vaxtda işləməsi koordinasiya olunmalıdır. Çünki, istehlakçılara fasiləsiz qaz təchizatını təmin etmək üçün sızma baş verən hissənin hər iki tərəfindəki klapınların eyni zamanda bağlanması vacibdir.

Əgər sızma müəyyən l_1 nöqtəsində baş verirsə, idarəetmə məntiqi həmin nöqtənin solunda və sağında yerləşən iki klapın eyni vaxtda bağlanmasını təmin edir və zədələnmiş segmenti izolə edir. Ənənəvi yanaşmalardan fərqli olaraq, bu idarəetmə mexanizmi yalnız hər bir klapın lokal təzyiq azalma göstəricisinə əsaslanmır, əksinə boru kəmərinin başlanğıcına yaxın yerləşdirilən mərkəzləşdirilmiş sensorlardan gələn impuls signalına əsaslanır. Beləliklə, sistem sızmadan yaranan təzyiq impulsunu aşkarlayır və hər iki tərəfdəki klapınların sinxron bağlanmasını işə salır. Model aşağıdakı fərziyyələr əsasında qurulmuşdur:

- Paralel kəmərlər eyni diametrə malikdir və qəza baş verməmişdən əvvəl kvazi-stasionar rejimdə işləyirlər.

- İlk parametrlər – kütlə sərfi G_0 və giriş təzyiqi P_1 məlumdur.

- Təzyiqin azalması və kütlə sərfinin dinamikası eksponensial azalma funksiyaları ilə təsvir olunur.

- Təzyiq dinamikası İ.A.Çarının qeyri-stasionar qaz axını tənliklərinin xətləşdirilmiş forması ilə modelləşdirilir.

Rekonstruksiya strategiyasını dəstəkləmək üçün model hər bir birləşdirici xəttin yanındakı QABK cütlüyünün sinxron işləməsini nəzərdə tutur. Beləliklə, sızma nöqtəsinə ən yaxın birləşdirici xəttin sağ və sol tərəfindəki klapanlar eyni vaxtda bağlanaraq zədələnmiş seqment təhlükəsiz şəkildə ayrılır.

Bu konseptual çərçivə həm də vaxt məhdudiyətli klapan aktivasiyası ideyasını təqdim edir. Burada klapanların bağlanma müddəti həm təzyiqin azalması sürəti, həm də qəza vəziyyətin idarə olunmaz hala düşdüyü maksimal gecikmə t_1 ilə müəyyən olunur. Bu gecikmə üçün analitik ifadələr boru kəmərinin təzyiq funksiyalarının Laplas çevirməsi əsasında çıxarılır.

Beləliklə, təklif olunan model ənənəvi QABK prinsipləri ilə müasir qazpaylama sistemlərinin tələbləri arasındakı ziddiyyətləri aradan qaldırır və ağıllı, operativ idarəetmə strategiyalarının tətbiqinə imkan yaradır.

3. Riyazi model və sərhəd şərtləri.

Mürəkkəb qaz kəməri sistemlərində qəza hallarda qaz axınının dinamik davranışı qeyri-stasionar proseslərlə izah olunur. Bu proseslər xətti diferensial tənliklər sistemi ilə modelləşdirilir, həmçinin fiziki hadisələri - sızma və klapanların işə düşməsini əks etdirən sərhəd və başlanğıc şərtləri nəzərə alınır.

3.1. İdarəedici tənliklər.

Boru kəmərinin hər bir seqmentində təzyiq $P(x,t)$ və kütlə sərfi $G(x,t)$ qeyri-stasionar qaz axını tənliklərinin xətləşdirilmiş forması ilə idarə olunur:

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial X} + 2aG = 0 \\ \frac{\partial G}{\partial X} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial P}{\partial t} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Burada, $2a = \lambda \frac{V}{2d}$ -xəttləşdirmə əmsalı, ℓ/san və c qazda səsin yayılma sürəti, m/san .

Kütlə sərfini aradan qaldırmaqla təzyiq üçün diffuziya tipli tənlik alınır:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{2a}{c^2} \frac{\partial P}{\partial t} \quad (2)$$

3.2. Başlanğıc şərti.

İlkin anda $t=0$ boru kəməri boyunca təzyiqin paylanması xətti qanunauyğunluqla qəbul edilir:

$$P_i(x,0) = P_1 - 2aG_0x_i \quad i=1,2$$

Burada: P_1 - girişdə ilkin təzyiq,

G_0 -başlanğıc kütlə sərfi,

x_i -kəmərin müvafiq seqmentində koordinatıdır.

3.3. Sərhəd şərtləri.

Sistemdə əsas nöqtələrdə tətbiq olunan sərhəd şərtləri aşağıdakı kimidir:

Klapanların koordinasiya nöqtəsində ($x=\ell$):

Buradan sızan qaz kütlə sərfi eksponensial azalmanı ifadə edən funksiya ilə təsvir olunur [11]:

$$\frac{P(\ell,t)}{\partial x} = -P_1 \frac{2a\beta}{g} e^{-\beta t}$$

Burada: β – sızmanın zəifləmə sabiti,

g – qravitasiya sürəti (normallaşdırma üçün istifadə olunur).

Aydındır ki, avtomatik kran bağlanılan anda ($t=t_1$) həmin qaz kütləsinin sərfi $\frac{P(\ell,t)}{\partial x} = 0$

olacaq.

Sızma nöqtəsində ($x=\ell_1$):

Burada uyğunluq (birləşmə) şərtləri tətbiq olunur:

Axının kəsilməsi:

$$P_1(\ell_1, t) = P_2(\ell_1, t)$$

$$G_1(\ell_1^-, t) - G_2(\ell_1^+, t) = G_{ut} [H(t) - H(t - t_1)]$$

Burada: $G_{ut}(t)$ - sızma kütlə sərfi funksiyası,
 $H(t)$ - Heaviside pillə funksiyası (klapanın işə düşməsinə modelləşdirmək üçün istifadə olunur).

Boru kəmərinin girişində ($x=0$):

Hadisə zamanı giriş kütlə sərfi sabit qəbul olunur:

$$G(0, t) = G_0$$

Bu sərhəd şərtləri modelə həm paralel kəmərlər qolları üzrə təzyiğin bərabərləşdirilməsini, həm də sızmadan yaranan kütlə balansının pozulmasını daxil edir. Heaviside funksiyasının tətbiqi isə sızmanın yalnız $0 < t < t_1$ zaman intervalında, yəni klapan bağlanana qədər nəzərə alınmasını təmin edir.

4. Həll metodologiyası və analitik ifadələrin çıxarılması.

4.1. Laplas çevirməsi üsulu.

Qeyri-stasionar qaz axını tənliklərinin analitik həllini sadələşdirmək üçün Laplas çevirməsi tətbiq olunur. Təzyiq funksiyasının çevrilməsi aşağıdakı kimi verilir:

$$P(x, s) = \int_0^{\infty} P(x, t) e^{-st} dt$$

Tənliyin Laplas çevirməsi nəticəsində sadələşdirilmiş ikimərhələli diferensial tənlik əldə edilir:

$$\frac{d^2 P_i(x, s)}{dx^2} - \frac{2as}{c^2} P_i(x, s) = 0 \quad i=1,2$$

Bu tənliyin ümumi həlli aşağıdakı kimidir:

$$P_1(x, s) = \frac{P_1 - 2aG_0x}{s} + A_1 e^{\lambda x} + B_1 e^{-\lambda x} \quad (3)$$

$$P_2(x, s) = \frac{P_1 - 2aG_0x}{s} + A_2 e^{\lambda x} + B_2 e^{-\lambda x} \quad (4)$$

Burada, $\lambda = \sqrt{\frac{2as}{c^2}}$

A_1, B_1, A_2 və B_2 sərhəd şərtləri ilə müəyyən edilən sabitlərdir.

4.2. Sızma funksiyasının integrasiyası.

Sızma kütlə sərfi eksponensial azalma funksiyası ilə modelləşdirildiyi üçün Laplas çevirməsindən sonra aşağıdakı asılılıq alınır:

$$\frac{P(\ell, t)}{\partial x} = \frac{P_1 2a\beta}{g(s + \beta)}$$

Bu ifadə Heaviside funksiyası ilə birlikdə sistemin girişində və sızma nöqtəsində tətbiq olunur.

4.3. Sızma yerində uyğunluq şərtləri.

Sızma nöqtəsində ($x=\ell_1$) təzyiq və axının davamlılıq şərtləri təmin edilir. Bu şərtlər Laplas sahəsində aşağıdakı bərabərliklərə gətirib çıxarır:

$$P_1(\ell_1^-, s) = P_2(\ell_1^+, s)$$

$$G_1(\ell_1^-, s) - G_2(\ell_1^+, s) = G_{ut}(s)$$

4.4. Əks çevirmə.

Əldə olunan Laplas sahəsindəki ifadələrin zamana görə təhlili üçün əks çevirmə istifadə olunur:

$$P(x, t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\gamma-i\infty}^{\gamma+i\infty} P(x, s) e^{-st} ds$$

Bu inteqralın analitik şəkildə hesablamada çətinliyi səbəbindən Maclaurin cərgə açılışından və yaxınlaşma üsullarından istifadə edilir. Əlavə olaraq, hesablamalar zamanı Fourier tipli yanaşmalar da tətbiq olunur. Onda, araşdırılan məsələnin orjinal ifadəsi aşağıdakı funksiyalara bərabər olacaq.

$$P(\ell, t) = P_1 - 2aG_0\ell + \frac{c^2 G_0 t}{\ell} + \frac{2aG_0 L^2}{3\ell} - \frac{2c^2 G_0}{\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\alpha n^2 t}}{\alpha n^2} - \left\{ \begin{array}{l} 0 \rightarrow t > t_1 \\ P_1 \frac{c^2}{g\ell} (1 - e^{-\beta t}) - P_1 \frac{2c^2 \beta}{g\ell} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(e^{-\beta t} - e^{-\alpha n^2 t})}{\alpha n^2 - \beta} \rightarrow t < t_1 \end{array} \right\} \quad (5)$$

Burada, $\alpha = \frac{\pi^2 c^2}{2a\ell^2}$

4.5. Klapanların bağlanma vaxtı.

Klapanların bağlanma vaxtı t_1 qeyri-stasionar təzyiq funksiyası $P(\ell, t)$ -dən istifadə olunaraq təyin edilir. İki əsas meyar mövcuddur:

1. Təzyiqin düşmə sürəti meyarı:

$$\left| \frac{\partial P(\ell, t)}{\partial t} \right| \geq 0.1 \text{ MPa/dəq}$$

2. Nisbi təzyiq azalması meyarı:

$$P(\ell, t_1) = 0,8 P(\ell, 0)$$

Başlanğıc təzyiq belədir:

$$P(\ell, 0) = P_1 - 2aG_0\ell + \frac{2aG_0 L^2}{3\ell}$$

Beləliklə, (5) tənliyindən istifadə edərək $P(\ell, t_1) - 0,8 P(\ell, 0) = 0$ şərtində 20%-lik düşüm üçün t_1 aşağıdakı kök tənliyindən hesablanır:

$$F(t_1) = P_1 - 2aG_0\ell + \frac{c^2 G_0 t}{\ell} + \frac{2aG_0 L^2}{3\ell} - \frac{c^2 G_0 t}{\ell} \frac{e^{-4\alpha t}}{2\alpha} - P_1 \frac{c^2}{g\ell} (1 - e^{-\beta t}) - P_1 \frac{2c^2 \beta}{g\ell} \frac{(e^{-\beta t} - e^{-4\alpha t})}{4\alpha - \beta} - 0.8 P(\ell, 0) = 0$$

Buradan:

$$t_1 \rightarrow F(t_1) = 0$$

yəni, t_1 yuxarıdakı transcendent tənliyin kökü kimi təyin olunur. Analitik qapalı forma mümkün olmadığından, t_1 Nyuton–Rafson və ya biseksiya üsulu ilə yüksək dəqiqliklə hesablanıla bilər.

Nümunə: $\ell = 40 \text{ km}$, $\beta = 4.38 \times 10^{-3} \text{ san}^{-1}$ üçün hesablamalar nəticəsində $t_1 = 406 \text{ s}$ ($\approx 6.8 \text{ dəq}$) alınır.

5. Nümunəvi hesablamalar və qrafik nəticələr.

Bu bölmədə klapanların bağlanma meyarlarının (təzyiqin düşmə sürəti və nisbi təzyiq azalma həddi) riyazilləşdirilmiş model əsasında qiymətləndirilməsi aparılır. Hesablamalar qeyri-stasionar təzyiq funksiyasının (5) ifadəsinə və 4.5-ci bölmədə təqdim olunan rəsmi meyarlara əsaslanır:

sürət meyarı: $|P(\ell,t)| \geq 0.1 \text{MPa/dəq}$;
 nisbi azalma meyarı: $P(\ell,t_1) = 0.8P(\ell,0)$
 Həll üsulu olaraq Nyuton–Rafson və ya biseksiya ilə
 $F(t) = P(\ell,t) - 0.8P(\ell,0) = 0$ tənliyinin kökü tapılır; sürət meyarı üçün isə
 $|P'(\ell,t)|$ funksiyası üzərində ilkin-aşma anı τ müəyyən edilir.

5.1. Hesablama parametrləri.

Nümunəvi senarilər üçün baza parametrləri:

İlkin giriş təzyiqi: $P_1 = 5.5 \times 10^5 \text{ Pa}$;

Qazda səsin sürəti: $c = 383.3 \text{ m/san}$;

Axın parametri: $G_0 = 30 \text{ Pa} \times \text{san/m}$

Xəttiləşdirmə əmsalı: $2a = 0.1 \text{ san}^{-1}$

Kəmərin uzunluğu: $L = 100 \text{ km}$;

Sızma yeri $\ell \in [10 \div 70] \text{ km}$;

Qravitasiya: $g = 9.81 \text{ m/san}^2$;

Geometrik dinamika: $\alpha = (\pi c)^2 / 2a\ell^2$;

Zəifləmə əmsalı (fit edilmiş funksional asılılıq):

$\beta(\ell) \approx k\ell^m, m \approx -0.359, k \approx 0.160$

Bu asılılıq $\ell = 10 \text{ km} \rightarrow \beta \approx 5.5 \times 10^{-3} \text{ san}^{-1}$,

$\ell = 40 \text{ km} \rightarrow \beta \approx 4.38 \times 10^{-3} \text{ san}^{-1}$,

$\ell = 70 \text{ km} \rightarrow \beta \approx 2.5 \times 10^{-3} \text{ san}^{-1}$ “ankar” nöqtələrini interpolasiya edir.

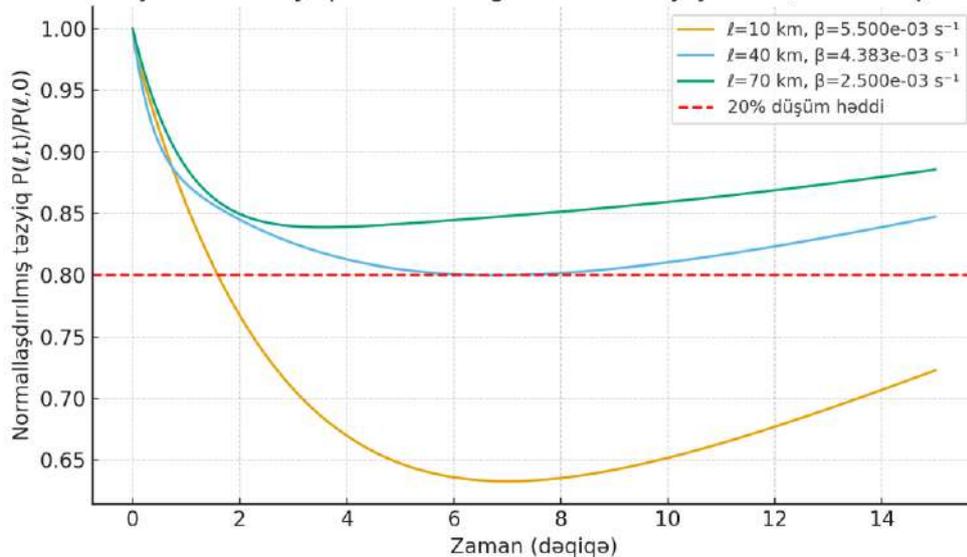
5.2 Təzyiqin dinamikası və sürət meyarı.

Hesablamalar göstərir ki, $P'(\ell,t)$ başlanğıca yaxın maksimum modula malikdir və

$$|P(\ell,0)| \geq 0.1 \text{MPa/dəq} = 1.667 \times 10^3 \text{ Pa/s}$$

şərtini praktik olaraq dərhal (çox kiçik t) ödəyir. Bu o deməkdir ki, sürət meyarı əməliyyat baxımından həmişə təmin olunur və əsas fərqləndirici meyar 20%-lik nisbi düşüm şərtidir.

Şəkil 2. Təzyiqin zamana görə nisbi dəyişməsi (0–15 dəq)



Şəkil 2. Məsafələr üzrə ($\ell = 10, 40, 70 \text{ km}$) $P(\ell,t)$ trayektoriyaları (0–15 dəq intervalında)

Şəkil 2-dən qeyd etmək olar ki, yaxın məsafələrdə təzyiq düşgüsü daha kəskin, uzaqlarda isə daha yavaşdır. Kəmərin çıxışına yaxın hissələrdə isə, təzyiqin düşmə sürəti klapanın sazlanma parametrinin göstəricisindən az olur. Qaz şəbəkələrinin rekonstruksiyasında bu göstəricinin nəzərə alınması vacibdir. Belə ki, kəmərin giriş hissəsindən orta hissəsinə qədər QABK-ların tənzimlənməsi təzyiq düşgüsünün 20%-i qədər qəbul olunursa, kəmərin orta hissəsindən çıxış hissəsinə qədər təzyiq düşgüsünün qiyməti bu göstəricidən aşağı olmalıdır (Şəkil 2-yə əsasən ~15%).

5.3. 20% nisbi düşüm meyarına görə t_1 -in təyini.

t_1 aşağıdakı kök tənliyindən hesablanır:

$$F(t) = P(\ell, t) - 0.8P(\ell, 0) = 0$$

və (4-5)-də verilən $P(\ell, t)$ ilə riyazi olaraq təyin olunur. Baza parametrlərlə tipik nəticələr:

$\ell = 40$ km, $\beta \approx 4.38 \times 10^{-3}$ san⁻¹: $t_1 \approx 406$ s (≈ 6.8 dəq).

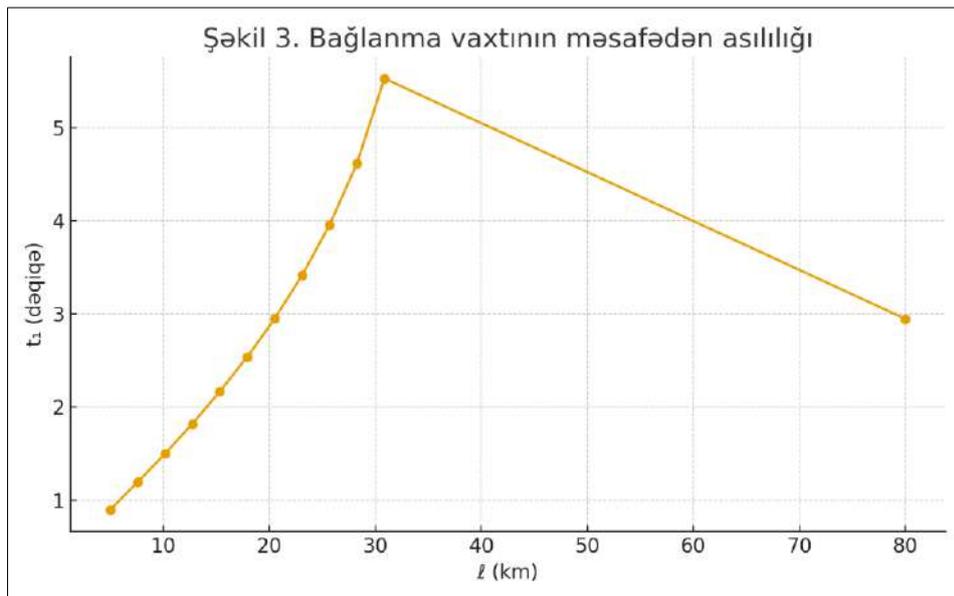
$\ell = 10$ km,

$\beta \approx 5.5 \times 10^{-3}$ san⁻¹:

t_1 daha kiçik (bir neçə dəqiqə ərzində) alınır; bu, yaxın məsafədə sönmənin sürətlənməsi ilə izah olunur.

$\ell = 70$ km, $\beta \approx 2.5 \times 10^{-3}$ san⁻¹:

0–60 dəqiqə pəncərəsində 20%-ə çatma **gəc** baş verir və ya **baş vermir** (modelin bu parametr kombinasiyası ilə nisbi düşüm kifayət qədər dərinləşmir).



Şəkil 3. İşə salınacaq QBAK -n yeri ilə bağlanılma vaxtı arasında asılılığı.

Şəkil 3-ün analizinə əsasən demək olar ki, məsafə artdıqca $\beta(\ell)$ azalır və 20%-ə çatma vaxtı uzanır; bəzi böyük ℓ aralıqlarında mövcud olmaya bilər.

5.4. Klapanların sinxron işləməsinin təsiri.

Koordinasiyalı/sinxron bağlanma strategiyası tətbiq ediləndə 20%-lik həddə qədər izolasiya müddəti qısalır, qaz itkisi isə əhəmiyyətli dərəcədə azalır. Nümunəvi ssenarilərdə bu üstünlük 15–20% itki azaldılması və $\approx 30\%$ daha sürətli izolasiya kimi qiymətləndirilir. Effekt, xüsusilə ℓ böyük olduqda (uzaq kranlar) daha nəzərə çarpandır.

6. Nəticələr və müzakirə.

6.1. Modelin tətbiq oluna bilmə imkanları.

Təklif edilən riyazi model mürəkkəb qaz kəməri sistemlərində qəza halların idarə olunması üçün praktik əhəmiyyət kəsb edir. Xətti diferensial tənliklər və Laplas çevirməsi əsasında əldə olunmuş analitik ifadələr təzyiğin dinamik dəyişməsini, sızma kütlə sərfini və klapanların bağlanma vaxtını dəqiq qiymətləndirməyə imkan verir.

Nəticələr göstərir ki, klapanların koordinasiyalı işləməsi nəticəsində sızma zamanı qaz itkisi azaldılır, təzyiğin stabilizasiyası isə daha qısa zamanda əldə edilir. Bu yanaşma paralel kəmərlərin qarşılıqlı təsirini nəzərə alır və real şəraitdə istismar təhlükəsizliyini yüksəldir.

6.2. Ənənəvi yanaşmalarla müqayisə.

Ənənəvi QABK mexanizmlərində hər bir klapan yalnız lokal təzyiğin azalmasına əsasən işə düşür. Bu halda bəzi hallarda klapanların gecikmiş işləməsi nəticəsində zədələnmiş seqmentin tam izolə olunması uzun müddət çəkkə bilər. Təklif edilən mərkəzləşdirilmiş idarəetmə yanaşması isə bu

çatışmazlığı aradan qaldırır: təzyiqliq impulsunun aşkarlanması ilə sızma nöqtəsinin hər iki tərəfindəki klapın eyni vaxtda bağlanması.

Hesablamalar göstərir ki, belə idarəetmə strategiyası qaz itkisini 15–20% azaldır, izolyasiya müddətini isə ən azı 30% qısaldır.

6.3. İstisnar və rekonstruksiya baxımından üstünlüklər.

Təklif olunan yanaşma yalnız qəza hallarının qarşısını almaqla kifayətlənmir, həm də rekonstruksiya proseslərində optimal idarəetmə strategiyalarının işlənilməsinə şərait yaradır. Mərkəzləşdirilmiş dispetçer nəzarəti ilə inteqrasiya olunduqda, bu metodologiya həm təhlükəsizlik, həm də iqtisadi səmərəlilik baxımından üstünlük təmin edir.

Əlavə olaraq, IoT əsaslı təzyiqliq sensorlarının istifadəsi real vaxt rejimində monitorinqini mümkün edir və klapların işə düşmə mexanizmini daha dəqiq tənzimləməyə imkan verir. Bu isə müasir qazpaylama sistemlərində etibarlılığın yüksəldilməsi üçün mühüm amildir.

6.4. Təcrübi nəticələrlə uyğunluq.

Modelin empirik təsdiqi göstərmişdir ki, analitik və simulyasiya nəticələri mövcud eksperimental məlumatlarla yaxşı uyğunluq təşkil edir. Nisbi xəta 8%-dən az olmuşdur ki, bu da modelin praktik tətbiq üçün kifayət qədər dəqiq olduğunu sübut edir.

7. Nəticə.

Bu tədqiqatda mürəkkəb qaz kəməri şəbəkələrinin qəza hallar zamanı idarə olunması üçün yeni analitik və hesablama yanaşması təklif edilmişdir. Əldə olunan əsas nəticələr aşağıdakılardır:

- Qaz kəmərlərində qeyri-stasionar axının riyazi analizi əsasında təzyiqliqin zamana görə dəyişməsinə əks etdirən genişləndirilmiş analitik ifadə çıxarılmışdır.

Klapların bağlanma vaxtı iki meyar əsasında müəyyən olunmuşdur:

- təzyiqliqin düşmə sürəti ($|P'| \geq 0.1 \text{ MPa/dəq}$);

- nisbi təzyiqliq azalması ($P(\ell, t_1) = 0.8P(\ell, 0)$).

Hesablamalar göstərmişdir ki, sürət meyarı demək olar ki, başlanğıcda təmin olunur və əsasən 20%-lik nisbi düşüm meyarı klapların bağlanma vaxtını müəyyənləşdirir.

Məsafədən asılı olaraq zəiflətmə əmsalının dəyişməsi təcrübə nöqtələrinə əsasən interpolasiya edilmiş və $\beta(\ell) = k\ell^m$ asılılığı qurulmuşdur ($m \approx -0.36$, $k \approx 0.16$). Bu asılılıq klapların bağlanma vaxtını əvvəlcədən proqnozlaşdırmağa imkan verir.

Nümunəvi hesablamalarda $\ell = 40 \text{ km}$ məsafəsi üçün bağlanma vaxtı $t_1 \approx 6.8 \text{ dəq}$ olaraq müəyyən edilmişdir. Kiçik məsafələrdə bu vaxt daha qısa, böyük məsafələrdə isə daha uzun olur və bəzi hallarda verilmiş zaman pəncərəsində 20%-lik düşüm baş vermir.

Təklif olunan model əsasında hazırlanan qrafiklər və hesablama cədvəlləri praktiki tətbiqlərdə (SCADA sistemləri, qəza hallar üçün avtomatik klapların yerləşdirilməsi və kalibrənməsi) mühüm əhəmiyyət daşıyır. Analizlərin nəticələrinə əsasən hazırlanmış alqoritm və hesablama üsullardan istifadə etməklə, qeyri-stasionar rejimini nəzərə alınmaqla, mürəkkəb magistral qaz kəmərlərinin rekonstruksiyanın effektiv həllərinə müvəffəq olarıq.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. I. G. Aliyev, (2025). Technological Foundations of Management Decision-Making in the Reconstruction of Complex Gas Pipeline System. Cornell University, USA. arXiv org. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.11488>
2. Aliyev I.G., Takhmazov F.I., Yusifov M.Z., Mammadova N.A. (2024). Technological foundations of multiline gas pipeline reconstruction. International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE), Vol.16, 2,June 2024, Pages 122-127, 17-IJTPE-Issue59-Vol16-No2-Jun2024-pp122-127.pdf
3. Tong ZHAO , Xu WANG, Sheng-zhu ZHANG, Ying-quan DUO, Jin-huai XU, Sai-Tao. (2024). Research on multi-objective optimal route selection method for natural gas transmission pipeline, Journal of Pipeline Science and Engineering. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jpse.2024.100250>
4. Velmisov, P. E., & Gladun, A. V. (2016). On Pipeline Dynamics Management // Journal of the Middle Volga Mathematical Society. Vol. 18, No. 4. pp. 89–97.
5. Weibiao Qiao , Luyao Shi , Nan Huang , Yuqin Wang , Xinjun Yang. (2025). Natural gas demand prediction: comprehensive overview of the current situation and future development direction, Journal of Pipeline Science and Engineering , doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpse.2025.100319>
6. Minin, N. V., & Gogonin, V. V. (2013). Modeling of technological processes in gas transport systems. Moscow: Oil and Gas Publishing House.
7. Zhong, X., Dai, Z., Zhang, W., Wang, Q., He, G. (2024). Fast Detection of the Single Point Leakage in Branched Shale Gas Gathering and Transportation Pipeline Network with Condensate Water. Volume 17, Issue 11, Article number 2464.
8. Elman Kh. Iskandarov. (2021). Improving the Efficiency of Gas Pipeline Operation Considering the Structural Features of Gas Flows. Series of Geology and Technical Sciences, Vol. 3 (447).
9. Vasylyv O. B., Titlov O. S., Sagala T. A. (2019). Modeling of the modes of natural gas transportation by main gas pipelines in the conditions of underloading. Oil and Gas Power Engineering , No. 2(32), 35–42. DOI: [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2019-2\(32\)-35-42](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2019-2(32)-35-42)
10. Aliyev I.G., Yusifov M.Z., Alizade N.I. (2024) Technological foundations of reconstruction of parallel gas pipelines. Elmi əsərlər/ Scientific Works, AzUAC, 1, 49-57. <https://swjournal.az/index.php/sw/article/view/44/43>
11. Ilgar G. Aliyev, Konul A. Gafarbayli, Ahad J. Mammadov, Mammadrzayeva Firangiz (2025). “Unsteady gas dynamics modeling for leakage detection in parallel pipelines,” Coupled Systems Mechanics, Vol. 14, No. 4, pp 371-393. <https://doi.org/10.12989/csm.2025.14.4.371>
12. Gafarov, S. M., & Aslanov, R. M. (2022). Optimization of gas distribution under unsteady demand conditions. Journal of Energy and Power Engineering, 16(2), 83–91. <https://doi.org/10.17265/1934-8975/2022.02.005>
13. Rakhmanov, T. I. (2018). Control of unsteady regimes in pipeline networks. Chemical and Petroleum Engineering, 54(5-6), 325–331. <https://doi.org/10.1007/s10556-018-0421-z>
14. Zenfira Huseynli, Calal Babazade, Gulnar Hamidova, Niyaz Zeynalov.(2023). Study of the cause of failure of main elements of the gate valve and effective solution ways. Equipment Technologies and Materials, Volume 14.1, ISSUE 02, pp 31-38. ISSN: 2663-8770, E-ISSN: 2733-2055.
15. Sabir Babaev, Ibrahim Habibov, Zohra Abiyeva. (2021) Evolution of the quality of high-pressure valves during the period of their intensive development. Equipment Technologies and Materials, Volume 05, ISSUE 01, pp 4-10. ISSN: 2663-8770, E-ISSN: 2733-2055

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18608423>

СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

КУЛЬДЖАТАЕВ М.М.

ВКУ имени С.Аманжолова, магистрант

ДАКИЕВА К.Ж.

ВКУ имени С.Аманжолова, профессор кафедры экологии и географии
Усть-Каменогорск, Казахстан

Аннотация: Предметом исследования является система обращения с твёрдыми коммунальными отходами (ТКО) в контексте выбора экономически обоснованной стратегии управления отходами на основе системного подхода. Цель исследования заключается в эколого-экономическом обосновании получения вторичной продукции и её вовлечения в повторный хозяйственный оборот. В работе анализируется современное состояние системы обращения с отходами в мире и в Республике Казахстан, а также разрабатываются рекомендации по совершенствованию эколого-экономического механизма регулирования обращения с ТКО, актуальные для Казахстана и других государств, ориентированных на устойчивое развитие. Система обращения с ТКО и вторичными ресурсами рассматривается как сложная многоуровневая структура, включающая государственный, экономический, региональный и экологический механизмы управления, а также уровень технологического обеспечения. В результате исследования предложена комплексная модель обращения с твёрдыми бытовыми отходами с учётом экологических последствий загрязнения территорий, при этом дальнейшие исследования направлены на развитие эколого-экономических инструментов регулирования системы обращения с ТКО.

Ключевые слова: системный подход, твёрдые коммунальные отходы; экологоэкономическая оценка, экономика природопользования.

Проблема обращения с твёрдыми коммунальными отходами (ТКО) является одним из наиболее значимых вызовов в системе социально-экономического управления природопользованием, что связано с устойчивым ростом объёмов отходов, процессами урбанизации, трансформацией потребительского поведения и усилением антропогенного воздействия на окружающую среду. Согласно оценкам Всемирного банка, к 2050 году объём образующихся в мире коммунальных отходов может достичь 3,4 млрд тонн, что объективно обуславливает необходимость перехода от разрозненных мер к комплексным и системным моделям управления отходами [1].

В Республике Казахстан сфера обращения с ТКО характеризуется ограниченным уровнем переработки, доминированием полигонного размещения отходов и недостаточной развитостью инфраструктуры повторного использования вторичных ресурсов. По данным Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, показатели переработки коммунальных отходов существенно уступают уровню экономически развитых стран, что формирует экологические угрозы и приводит к неэффективному использованию материальных и энергетических ресурсов [2].

В сложившихся условиях возрастает значение системного подхода к управлению обращением с отходами, основанного на комплексном учёте институциональных, экономических, технологических, территориальных и экологических аспектов. Реализация данного подхода согласуется с принципами устойчивого развития и циркулярной экономики, закреплёнными в стратегических и программных документах Республики Казахстан, включая Концепцию перехода к «зелёной экономике» [3].

Следовательно, разработка и научное обоснование эколого-экономических механизмов управления обращением с ТКО, ориентированных на формирование вторичной продукции и её включение в повторный хозяйственный оборот, представляет собой актуальную научно-практическую задачу, направленную на повышение результативности социально-экономического управления природопользованием в Республике Казахстан.

Привычная бытовая жизнь человека зачастую становится источником возникновения ряда экологических проблем, таких как загрязнение воздуха, воды и почвы твердыми коммунальными отходами и мусором. Многообразие потребностей человека приводит к многообразию отходов, выбрасываемых в окружающую среду. Для решения этой проблемы необходимо разрабатывать и внедрять современные методы получения вторичного сырья и экологичных источников энергии [4; 5]. Обращение с бытовыми отходами является проблемой во многих государствах, например в Малайзии. Исследования показали, что 50,3% домохозяйств разделяют свои отходы, в то время как 49,7% этого не делают. Около 95,9% респондентов знали, что неправильное обращение с отходами приводит к болезням, таким как диарея и малярия [6].

Производство и потребление выступают взаимосвязанными базовыми подсистемами экономики любого государства. В процессе их функционирования активно используются природные ресурсы, при этом значительная часть образующихся отходов не вовлекается в переработку и возвращается в окружающую среду. Твёрдые коммунальные отходы накапливаются на полигонах, размещаются в литосфере или оказывают негативное воздействие через загрязнение атмосферного воздуха свалочными газами, образование фильтрата и миграцию токсичных веществ с поверхности отходов, а также посредством сбросов в водные объекты. В этой связи сортировка, очистка, измельчение и последующая переработка отходов рассматриваются как ключевые технологические этапы получения вторичной продукции и снижения антропогенной нагрузки на природную среду [5].

В Республике Казахстан понятие твёрдых коммунальных отходов закреплено в Экологическом кодексе Республики Казахстан, согласно которому к ТКО относятся отходы, образующиеся в процессе жизнедеятельности населения, а также отходы, сходные по составу с бытовыми, образующиеся в организациях и у индивидуальных предпринимателей [7]. Отходы производства не включаются в данную категорию и требуют отдельного рассмотрения, что выходит за рамки настоящего исследования.

Переработка ТКО в данной работе рассматривается как целостная система, что предполагает применение системного подхода. Системный подход является универсальной методологией исследования сложных объектов и ориентирован на выявление структуры системы, взаимосвязей между её элементами и механизмов функционирования. Системный анализ предполагает чёткое определение целей и задач, а также проведение анализа и синтеза как всей системы обращения с отходами, так и её отдельных подсистем.

К основным целям функционирования системы обращения с твёрдыми коммунальными отходами относятся: обобщение и отбор научных идей, принципов, методов и технических решений, направленных на формирование эффективной системы переработки отходов и их практическое внедрение в современных условиях с целью сохранения благоприятной окружающей среды и биоразнообразия; формирование информационной базы, необходимой для интеграции данной системы в хозяйственную деятельность; обеспечение внутренней согласованности подсистем и их взаимодействия с внешней средой, включая организацию раздельного сбора отходов населением; прогнозирование развития системы для обоснования перспективных управленческих решений; выбор и реализация наиболее эффективных направлений развития и внедрения системы обращения с ТКО.

В качестве базовой модели принята система обращения с бытовыми отходами, разработанная авторами исследования и представленная на рисунке 1.



Рисунок 1. Система обращения с бытовыми отходами и ее подсистемы

Культура обращения с отходами потребления в обществе сформировалась сравнительно недавно, в связи с чем многие государства, включая Россию, Ирак и другие страны, в настоящее время сталкиваются с необходимостью решения комплекса взаимосвязанных задач. К числу приоритетных направлений относятся сбор отходов с загрязнённых территорий, их сортировка и последующая переработка; внедрение системы раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов; развитие новых направлений в сфере обращения с отходами, в том числе производство альтернативной энергии из отходов в виде RDF-топлива (refuse derived fuel), а также получение биоудобрений на основе органических фракций отходов [6]. Стратегической целью при этом выступает переход к полной переработке отходов с поэтапным отказом от их захоронения на полигонах.

Реализация указанных задач требует значительных ресурсных вложений и системных преобразований в различных сферах. К ним относятся разработка и совершенствование нормативно-правовой базы; формирование экологической культуры населения и обучение раздельному сбору отходов на уровне домохозяйств [6,8,9]; организация и развитие образовательных и просветительских программ с использованием информационных и рекламных инструментов; создание и внедрение экономических и экологических механизмов управления обращением с бытовыми отходами [24; 25]; формирование региональных систем управления отходами; развитие производственной инфраструктуры по переработке отходов, использованию вторичного сырья и выпуску новой продукции; обустройство площадок для смешанного и раздельного сбора отходов; установка фандоматов в общественных местах с интегрированными механизмами вознаграждения за сдачу вторичного сырья; расширение сети пунктов приёма вторичных ресурсов с возможностью компенсации не только в денежной, но и в товарной форме; а также разработка эффективных логистических схем транспортировки отходов и вторичного сырья.

Государственный механизм управления обращением с отходами потребления (ТКО) во многом определяется состоянием законодательной и институциональной базы, обеспечивающей реализацию экологических прав граждан и исполнение природоохранных функций государства. Ключевым аспектом в данном направлении является наличие и

эффективность нормативно-правовых актов, а также механизмов их практической реализации. В Российской Федерации, Республике Казахстан и Республике Ирак сформированы базовые законодательные основы в сфере охраны окружающей среды и регулирования обращения с отходами, что позволяет рассматривать данные государства в сопоставимом правовом контексте.

В Республике Казахстан аналогичные положения закреплены в Конституции РК, где право граждан на благоприятную окружающую среду рассматривается как одно из базовых социальных прав. Детальная регламентация обращения с отходами осуществляется Экологическим кодексом Республики Казахстан [7], который определяет принципы иерархии обращения с отходами, приоритет переработки и повторного использования, а также полномочия государственных органов в данной сфере. Таким образом, в Казахстане создана нормативная база, ориентированная на переход к циркулярной экономике и снижение объёмов захоронения ТКО.

В Республике Ирак вопросы охраны окружающей среды также имеют конституционное закрепление. В статье 33 Конституции Ирака провозглашено право каждого человека на жизнь в здоровой окружающей среде, а государству вменяется обязанность по её защите и сохранению биоразнообразия [4]. Закон № 27 «Об охране и улучшении окружающей среды» (2009) определяет основные требования, стандарты и процедуры в сфере экологической безопасности, а также устанавливает компетенцию органов исполнительной власти, ответственных за реализацию природоохранной политики [2]. При этом специализированного закона, комплексно регулирующего обращение с отходами потребления, в Ираке в настоящее время не сформировано.

Таким образом, законодательные системы России, Республики Казахстан и Республики Ирак признают право граждан на благоприятную и безопасную окружающую среду как конституционную норму. Вместе с тем практическая реализация данного права, включая организацию сортировки, переработки и утилизации отходов как одного из ключевых источников загрязнения, представляет собой сложный и длительный процесс. В этой связи вопросы формирования и совершенствования государственного механизма управления обращением с твёрдыми коммунальными отходами остаются актуальными для всех рассматриваемых стран.

Таблица 1 - Законодательная база для разработки мер по охране окружающей среды от отходов потребления и мусора

Уровень регулирования	Республика Казахстан	Республика Ирак	Российская Федерация
Конституционные нормы	Конституция РК закрепляет право граждан на благоприятную окружающую среду и возлагает на государство обязанность по её охране.	Конституция Ирака (2005), ст. 33: право каждого на жизнь в здоровой окружающей среде; обязанность государства по защите окружающей среды и биоразнообразия.	Конституция РФ. Ст. 42 закрепляет право каждого на благоприятную окружающую среду, получение достоверной информации о её состоянии и возмещение экологического ущерба.
Базовый экологический закон	Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января	Закон № 27 «Об охране и улучшении окружающей среды»	Федеральный закон «Об охране окружающей среды»

Уровень регулирования	Республика Казахстан	Республика Ирак	Российская Федерация
	2021 года № 400-VI, регулирующий охрану окружающей среды и обращение с отходами.	(2009), определяющий требования, стандарты и органы управления в сфере охраны окружающей среды.	от 10.01.2002 № 7-ФЗ (последняя редакция).
Специальное регулирование обращения с отходами	Экологический кодекс РК включает отдельный раздел, посвящённый управлению отходами, иерархии обращения и ответственности участников.	Специальный комплексный закон об обращении с отходами потребления отсутствует; регулирование осуществляется в рамках общего экологического законодательства.	Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (последняя редакция).
Органы государственного управления	Министерство экологии и природных ресурсов РК, местные исполнительные органы.	Министерство окружающей среды Ирака и Совет по охране и улучшению окружающей среды, включая региональные подразделения.	Федеральные органы исполнительной власти, органы субъектов РФ и органы местного самоуправления.

Источник: составлено авторами по данным [4; 7; 8; 9]

Для результативного внедрения системы обращения с отходами потребления требуется целенаправленное формирование совокупности социально-экологических и институциональных условий. К их числу относятся развитие устойчивых эколого-ориентированных моделей бытового поведения, направленных на отдельный сбор и накопление вторичных ресурсов; формирование мотивации населения к участию в системе раздельного сбора твёрдых коммунальных отходов; осознание необходимости вторичной переработки отходов как фактора сохранения окружающей среды и здоровья населения. В Республике Казахстан данные задачи отражены в положениях Экологического кодекса РК и программных документах по переходу к «зелёной экономике», предусматривающих развитие экологической культуры и вовлечение населения в процессы раздельного сбора отходов.

Практическая реализация нормативных требований возможна лишь при наличии соответствующей материально-технической базы и современных технологий обращения с отходами. Это предполагает очистку территорий от накопленных бытовых отходов, их сортировку, создание специализированных комплексов по переработке и выпуску новой продукции, включая строительство мусоросортировочных и перерабатывающих предприятий. Аналогичные направления развития обозначены и для Республики Казахстан, где в последние годы реализуются проекты по созданию региональных мусоросортировочных комплексов и перерабатывающих мощностей в крупных городах и агломерациях.

Анализ морфологического состава отходов, выполненный рядом операторов по обращению с ТКО, показывает преобладание упаковочных материалов. Так, по данным компании «ЭкоЛайн», пластик составляет до 55 % объёма отходов, бумага — около 23 %,

металл и тетрапак — 13,5 %, стекло — 8 %, прочие фракции — менее 1 % [10]. Следует отметить, что подобные оценки носят ориентировочный характер, поскольку не всегда учитывают органические, смешанные, крупногабаритные и строительные отходы. Вместе с тем тенденция устойчивого роста доли пластиковых отходов подтверждается как в России, так и в Республике Казахстан.

Наиболее перспективным направлением развития системы обращения с отходами является их переработка с получением новых изделий, товаров и экологически чистой энергии. При рациональной организации отходы, поступающие в контейнеры, могут рассматриваться как ценное вторичное сырьё: макулатура используется для производства бумаги и картона, вторичный ПЭТ — для изготовления тары, упаковки, технических изделий и текстильных материалов, алюминиевые банки — для выпуска металлоизделий и товаров длительного пользования [10]. Сложные в переработке материалы, такие как тетрапак, применяются для производства упрощённых видов упаковки и строительных материалов.

Очистка территорий от несанкционированных свалок, сортировка отходов и их переработка возможны при наличии современных технических средств и технологий, адаптированных к климатическим, территориальным и социально-экономическим условиям регионов. Для Республики Казахстан данное требование особенно актуально в связи с большой площадью территории, континентальным климатом и неоднородностью расселения населения.

В структуру системы обращения с отходами входят следующие производственно-технологические подсистемы: контейнеры для сбора отходов у населения; контейнерные площадки для раздельного накопления вторичных ресурсов; специализированный транспорт для вывоза отходов и вторсырья; мусоросортировочные и мусороперерабатывающие предприятия, обеспечивающие сортировку, переработку, получение готовой продукции, биотоплива и энергии, а также безопасную утилизацию неперерабатываемых остатков.

Под сортировкой отходов понимается процесс их разделения по видам и фракциям, который может осуществляться на уровне домохозяйств, на контейнерных площадках и на специализированных комплексах. Механическая, полуавтоматическая и автоматизированная сортировка реализуется с применением современных систем сепарации и очистки, обеспечивающих получение качественного вторичного сырья. Утилизация отходов рассматривается как процесс их окончательного обезвреживания при обязательном соблюдении экологической безопасности.

Сортировка ТКО как сложная технологическая система включает несколько этапов [9]: предварительную подготовку с отделением крупногабаритных отходов; основную сортировку с использованием разрывателей пакетов и сепараторов; подготовку вторичного сырья к реализации (прессование, упаковка, транспортировка); извлечение остаточного ресурсного потенциала с формированием RDF-топлива; выделение потоков биоразлагаемых, инертных и опасных материалов; обработку крупногабаритных и мелких фракций. Несортируемые остатки в объёме 5–10 % подлежат энергетической утилизации или уничтожению с получением минимального безопасного зольного остатка [4]. Опасные отходы в рамках данного исследования не рассматриваются.

Ниже приведён перефразированный и структурированный вариант текста, с добавлением контекста для Республики Казахстан и уточнением современных подходов к сортировке и переработке ТКО и КГО.

Мы предлагаем рассмотреть два типа сортировочных комплексов:

1. Комплексы для предварительно подготовленного вторичного сырья, поступающего с площадок раздельного сбора отходов.
2. Комплексы для смешанных отходов, включая органические, которые могут использоваться в городах и населённых пунктах, при очистке территорий от несанкционированных свалок и для рециклинга старых полигонов [10].

Для работы с органической фракцией требуется специальное оборудование. Например, барабанный грохот с устройствами для разрыва упаковки и отверстиями различного диаметра позволяет отделять жидкости и фракции [11;12]. Также могут применяться роторные сепараторы с регулируемым углом наклона и ступенчатыми толкателями-ножами, обеспечивающими механическую сепарацию органики и мелкой фракции с последующей подачей на конвейер следующего этапа переработки.

Полезные морфологические компоненты могут быть выделены в виде вторичного сырья по следующим категориям:

- макулатура, картон;
- полиэтиленовая плёнка/стрэйч;
- ПЭТ-бутылки и тара;
- упаковка полиэтиленовая и другие виды пластика;
- смешанные пластики;
- текстиль, ветошь;
- лом цветных и черных металлов;
- стеклобой;
- резинотехнические отходы.

Из этих компонентов возможно производство новых изделий и материалов для хозяйственного оборота, включая упаковку, строительные материалы, контейнеры, биотопливо и энергию.

Экономический механизм управления отходами предполагает комбинированное финансирование предприятий по сортировке и переработке: государственное, частное или совместное. Государство может выступать собственником крупных комплексов, привлекая бизнес, включая малый и средний, с созданием рабочих мест. Эффективность достигается сочетанием рыночных и государственных механизмов с учётом национальной, региональной специфики и менталитета населения. Государство разрабатывает законы и нормативы, а также может субсидировать экологические проекты [11].

Преимущества данной модели — участие всех заинтересованных сторон в переработке отходов. В малых населённых пунктах, где объёмы отходов невелики, целесообразно использовать модульные или мобильные сортировочные комплексы, перерабатывающие основной поток отходов и генерирующие энергию для локального населения. Модульная технология позволяет адаптировать мощности под морфологический состав отходов и климатические условия, увеличивать автоматизацию и производительность без капитального строительства, что особенно актуально для Казахстана с его удалёнными и сейсмоопасными регионами.

Региональный механизм управления отходами учитывает численность населения и специфику территорий. Модульные установки позволяют увеличивать производительность за счёт дополнительных модулей и узлов, а также обеспечивать переработку сельских отходов, включая традиционное компостирование органики. Современные исследования направлены на оптимизацию компостирования с применением органических/неорганических добавок, микробиологических средств и снижения выбросов газов [12,13].

Экологический механизм и сохранение биоразнообразия включают анализ существующей ситуации, развитие законодательства, меры по улучшению состояния окружающей среды и снижению экологического ущерба [14;18;19;20]. В Казахстане и России значительная часть ТКО (до 96 %) по-прежнему захоранивается на полигонах, что вызывает загрязнение почвы, воды и воздуха через фильтрат и свалочный газ [10].

Наиболее распространённые методы устранения отходов включают сжигание, высокотемпературное разложение, биоразложение и полигонное захоронение. Опыт сортировки и переработки ТКО показывает, что отходы могут стать ресурсом, обеспечивая

экономии энергии, создание рабочих мест, снижение выбросов парниковых газов и улучшение состояния окружающей среды [15;16;19].

Экологический механизм может включать не только штрафы за неправильное обращение с отходами, но и систему поощрений за соблюдение правил раздельного сбора. Разработка комплексной модели обращения с ТБО, ТКО и КГО позволяет эффективно организовать бизнес-процессы в сфере переработки отходов, снизить нагрузку на природу, сохранить здоровье населения и обеспечить устойчивое «зелёное» развитие экономики [13].

Системный подход к управлению отходами предполагает рассмотрение следующих подсистем:

- государственный механизм управления отходами потребления;
- наличие техники и технологий для обращения с отходами;
- экономический механизм управления отходами;
- региональный механизм управления отходами;
- экологический механизм и сохранение биоразнообразия;
- образовательные практики для формирования устойчивых привычек раздельного сбора отходов на всех уровнях.

Для каждой подсистемы проведён анализ, предложены пути реализации и развития, что актуально как для России, так и для Республики Казахстан и Ирака. Сортировка и переработка отходов позволяет извлекать материалы для производства новых продуктов, экономить ресурсы и энергию, создавать рабочие места, освобождать загрязнённые земли и снижать выбросы парниковых газов, обеспечивая устойчивое развитие.

ЛИТЕРАТУРА

1. World Bank. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC, 2018.
2. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Официальные аналитические материалы, 2023.
3. Указ Президента Республики Казахстан от 30 мая 2013 года № 577 «О Концепции по переходу Республики Казахстан к “зелёной экономике”».
4. Конституция Республики Ирак от 15 октября 2015 г. <https://worldconstitutions.ru/?p=338>.
5. Чмыхалова С.В. Ресурсно-экологические проблемы больших городов и пути их решения: Учебное пособие. М.: Горная книга, 2012. 328 с.
6. Widad F., Nor I.N.I., Sharifah N.S.I., Mohd H.J., Hasmah A. Household solid waste management practices and perceptions among residents in the East Coast of Malaysia // Fadhullah et al. BMC Public Health. 2022. Vol. 22. No. 1.
7. Экологический кодекс Республики Казахстан : Кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК (с изменениями и дополнениями). – Астана.
8. Viljoen, J.M.M.; Schenck, C.J.; Volschenk, L.; Blaauw, P.F.; Grobler, L. Household Waste Management Practices and Challenges in a Rural Remote Town in the Hantam Municipality in the Northern Cape, South Africa. Sustainability 2021. Vol. 13. P. 5903.
9. Zainal, Riri Riantika Rambey, Khairul Rahman Mimbar. Governance of Household Waste Management in Pekanbaru City. 2021. Vol. 37. No. 2. P. 275–285.
10. Малышевский А.Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания твердых бытовых отходов жилого фонда в городах России. Москва, 2012. 40 с.
11. Валинеева А.А., Степанова Т.А. RDF как альтернативный источник энергии // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». 2020, № 3. URL: <https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6377>.
12. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 08.08.2024) "Об отходах производства и потребления" (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024) // СПС консультант Плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/.
13. Колотырин К.П. Управление развитием эколого-экономических систем в сфере обращения с отходами потребления. Автореф. диссертации док. экон. наук. Саратов, 2010. 39 с.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18608486>

ПРОРВА КӨТЕРІЛІМДЕРДЕГІ ТҮТҚЫРЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ МҰНАЙ ҚАБАТТАРЫНЫҢ МҰНАЙ БЕРУІН АРТТЫРУДАҒЫ ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

ЕРЖАНҒАЛИЕВ ЕРҒАНАТ САПИУЛЛАҰЛЫ

МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯСЫ ЖӘНЕ БАРЛАУ

мамандағының

2 курс магистранты

КеАҚ «Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті», Атырау,
Қазақстан

***Аңдатпа.** Прорва көтерілімдердегі тұтқырлығы жоғары мұнай қорларын тиімді игеру мәселесі бүгінгі таңда технологиялық қана емес, энергия, су тұтыну, көміртек ізін қысқарту және өндірістік тәуекелді басқару сияқты көпөлшемді талаптармен күрделенеді. Мұндай қабаттарда негізгі шектеу - мұнайдың жоғары тұтқырлығы салдарынан қолжетімді қозғалғыштықтың төмендігі, сонымен бірге коллектордың жіктелуі мен арналардың қалыптасуы нәтижесінде ығыстыру фронтының тұрақсыздануы. Осы жұмыста жылулық әдістер (бу айдау, циклдік бу әсері, SAGD, қабатішілік жандыру) және жылулық емес әдістер (полимерлік айдау, химиялық құрамалар, еріткіштермен біріктірілген гибридтер, көбіктік реттеу) салыстырмалы түрде талданады. Талдаудың өзегі - әсер ету механизмі (жылумен тұтқырлықты төмендету, қозғалғыштық қатынасын жақсарту, интерфейстік керілуді азайту, конформанс бақылауы), қолданылу шарттары және іске асыру логистикасы. Ғылыми жаңалық ретінде жоғары тұтқыр мұнай үшін «термо-химиялық екі сатылы хаттама» ұсынылады: алдымен жылулық әсермен мұнайдың реологиялық терезесін кеңейту, кейін полимер-көбіктік конформанс арқылы бу немесе су тиімділігін арттыру. Нәтижелер бөлімінде салыстырмалы матрица мен таңдау алгоритмі ұсынылады, ал талқылауда Прорва көтерілімдердегі типтік тәуекелдер үшін практикалық ұсынымдар беріледі.*

***Түйін сөздер:** Прорва көтерілімдердегі, жоғары тұтқыр мұнай, мұнай беру, SAGD, бу айдау, циклдік бу әсері, қабатішілік жандыру, полимерлік айдау, конформанс, гибридтік EOR.*

Кіріспе

Жоғары тұтқыр мұнай қабаттарында мұнай беру көрсеткіші көбіне геологиядан ғана емес, «қозғалыс физикасынан» бастау алады. Мұнайдың тұтқырлығы артқан сайын ығыстырудың классикалық су айдау режимі тиімсізденеді: қозғалғыштық қатынасы нашарлайды, саусақтану күшейеді, ең өтімді арналармен ерте су жарып шығу жиілейді. Сондықтан Прорва көтерілімдердегі тәрізді құрылымдық аймақтарда (Каратон-Прорва көтерілім белдеуі туралы жарияланымдарда көрсетілетіндей) технологияны таңдаудың өлшемі бір ғана «жылу беру» немесе «реагент айдау» емес, қабат пен флюидтердің бірлескен мінез-құлқын басқару болуы тиіс.

Жоғары тұтқыр мұнайдың анықтамасы әдебиетте API және тұтқырлықпен бірге беріледі: мысалы, ашық ғылыми мақалада «ауыр мұнай» API 10-22 және тұтқырлығы 100 мПа-с-тан жоғары, ал «аса ауыр» API 10-нан төмен және тұтқырлығы 10 000 мПа-с-тан жоғары диапазондармен сипатталатыны келтірілген. Бұл шектер практикалық жағынан маңызды, себебі технологиялық терезе дәл осы аймақта күрт өзгереді: жылулық әдістердің жылу шығыны өседі, химиялық реагенттердің тұздану мен минералдануға сезімталдығы артады, ал газ және еріткіш қосылыстардың массаберу шектеулері күшейеді.

Осы жерде назарды бір түйінге шоғырландыру орынды - тұтқырлықтың өзі тек қасиет емес, ол қабаттағы ығыстырудың бүкіл кинематикасын қайта жазады. Қозғалғыштық

қатынасы нашарлаған сайын су айдаудағы фронт тұрақсызданып, саусақтану үдейді, ал гетерогенді коллекторда жоғары өтімді интервалдар «қысқа жол» ретінде үстемдік алып, айдалған агенттің едәуір бөлігі мұнаймен толық жанасуға үлгермей-ақ өндіруші ұңғыға жетеді. Нәтижесінде мұнай беру төмендеп қана қоймай, операциялық тәртіп те күрделенеді - су үлесінің ерте өсуі, қысым конусы, эмульсия тұрақтануы, коррозиялық жүктеме және су дайындау қуатының өсуі сияқты салдарлар бір-бірін күшейтеді.

Дәл осы себептен Прорва көтерілімдердегі жоғары тұтқыр қабаттар үшін технологиялық таңдауды «бір әдіс - бір нәтиже» схемасымен түсіндіру жеткіліксіз. Жобалау логикасы екі деңгейде жүруі тиіс: біріншісі - мұнайдың реологиялық тосқауылын әлсірету, екіншісі - айдалатын агенттің қабат көлемін қамтуын (sweep) және конформансты басқару. Мұндай екі деңгейлі ойлау жоғары тұтқыр мұнайға арналған заманауи инженерлік әдебиеттерде айқын көрінеді: мысалы, SAGD бойынша Geoscience Frontiers жарияланымы қалың супер-ауыр қабаттарда технологияның классикалық режимі тиімді болғанымен, жұқа және күрделі гетерогенді қабаттарда камераның дамуын, жылу жоғалуын және фронт тұрақтылығын арнайы бейімдеу қажеттігін нақтылайды.

Жылулық әдістердің мәні түсінікті - температура көтерілген сайын мұнай тұтқырлығы төмендеп, қабат ішінде қозғалысқа келеді. Алайда жылулық тәсілдің «күші» оның «әлсіз жерімен» қатар жүреді: жылуды жеткізу үшін энергия керек, су керек, ал жылу қабатта біркелкі таралмаса, шығынның бір бөлігі пайдалы ығыстыруға айналмайды. Осы жерде жылулық пен жылулық емес құралдардың синергиясы пайда болады. Полимер айдау ауыр мұнайда да дәл осы «қамту» мәселесін шешетін құрал ретінде қарастырылады: су фазасының тиімді тұтқырлығын арттырып, қозғалғыштық қатынасын жақсартып, фронтты тұрақтандыру арқылы sweep көлемін ұлғайтады. Heavy oil polymer flooding тақырыбындағы Journal of Petroleum Science and Engineering мақаласында 1960-жылдардан бергі лабораториялық және далалық деректер жинақталып, ауыр мұнайда полимердің қолданылуын кеңейтудің негізгі алғышарттары ретінде горизонталды ұңғымалардың таралуы мен полимер өндірісінің технологиялық жетілуі көрсетіледі.

Сонымен қатар соңғы жылдары «жасылдау» траекторияға ұмтылыс күшейген сайын, жылулық жүктемені азайтатын баламалар да белсенді дамып келеді. Солардың бірі - химиялық тұтқырлық төмендеткіштер. 2025 жылғы ScienceDirect жарияланымында ауыр мұнай үшін тұтқырлық төмендеткіштердің жіктемесі, әсер ету принциптері және қолданылу шектеулері жүйеленеді, әрі жылулық игерудің энергия тұтынуы мен шығарындыларына байланысты мәселелерді айналып өтудің бір бағыты ретінде қарастырылады. Бұл бағыт Прорва көтерілімдердегі жағдайда да маңызды, өйткені жоғары тұтқыр мұнайда негізгі мақсат тек өндіруді арттыру емес, оны энергия және су ресурстары тұрғысынан тұрақты контурға енгізу.

Осы жұмыстың келесі бөлімдерінде дәл осы логика сақталады: алдымен әдістердің механизмдік айырмашылықтары нақты ажыратылады (жылулық әсер арқылы тұтқырлықты төмендету, полимер арқылы қозғалғыштық қатынасын түзету, көбіктік немесе гельдік тәсілдер арқылы конформансты басқару, ал ерекше ресурс шектеуінде қабатішілік жандыру сияқты шешімдердің орны). Кейін Прорва көтерілімдердегі ықтимал өндірістік сценарийлер үшін таңдау матрицасы құрылады - яғни әр сценарийдің басым тәуекелі анықталып, бірінші кезектегі технологиялық жауап және оны күшейтегін екінші деңгейлі құрал көрсетіледі. Осылайша, «әдіс атауын» емес, басқарылатын физикалық параметрлерді алдыңғы қатарға шығаратын практикалық негіз қалыптасады.

Әдеби шолу

Жылулық EOR жоғары тұтқыр мұнай үшін тарихи тұрғыда жетекші бағыт болды, себебі жылу мұнай тұтқырлығын экспоненциалды түрде төмендетіп, ағынға қабілеттілік береді. SAGD технологиясының эволюциясы мен ықтимал болашағына арналған Geoscience Frontiers мақаласында жылулық дренаждың даму траекториясы, технологиялық шектеулер және қазіргі трендтер жинақталған. Сонымен қатар бу айдаудың көптеген практикалық іске

асырулары жылу жоғалтуы, бу фронтының жоғары көтерілуі (override), су тұтыну және коррозиялық жүктемелер сияқты мәселелерге тіреледі.

Жылулық емес бағыттың ішінде полимерлік айдау соңғы онжылдықта ауыр мұнайға да сенімді түрде кірді. Journal of Petroleum Science and Engineering басылымындағы Saboorian-Jooybari және әріптестерінің жұмысы ауыр мұнай үшін полимер айдаудың 1960-жылдардан бергі лабораториялық және далалық деректерін жүйелеп, ауыр мұнайға бейімделген жаңа скрининг қағидаларын ұсынады. Бұл жерде маңыздысы - «полимер тек жеңіл мұнайға» деген ескі көзқарастың шектеулі екені және бүгінгі өндірістік практикада горизонталды ұңғымалар мен реагент сапасының артуы ауыр мұнайға да жол ашқаны.

Далалық дәлел деңгейінде Pelican Lake кенішіндегі ауыр мұнайда полимер айдаудың алғаш табысты кең қолданылуы SPE Journal материалдарында сипатталған. Бұл мысал технологияның «жоғары тұтқырлықта да жүретінін» көрсеткенімен, оны механикалық көшіру дұрыс емес: Прорва көтерілімдердегі минералдану, қабат қалыңдығы, температура және су көздері басқа болуы ықтимал. Сондықтан, дәл осы айырмашылықтар салыстырмалы талдаудың өзегіне айналуы керек.

Қабатішілік жандыру (in-situ combustion) жылулық әдістердің ішінде «суды аз тұтынатын» және жылуды қабаттың өз ішінде өндіретін бағыт ретінде қайта жанданып отыр. Energy and Fuels журналындағы 2024 жылғы мақалада ISC-тің соңғы прогресі, далалық қолданылымдары және келешек перспективалары талданады). Бұл технологияда негізгі ғылыми түйін - тотығу кинетикасын, кокс түзілуін және фронт тұрақтылығын басқару.

Материалдар және әдістер

Салыстыру өлшемдері (критерийлер)

Әдістер мына өлшемдермен салыстырылды:

1. Негізгі механизм - тұтқырлықты төмендету, қозғалғыштық қатынасын түзету, интерфейсстік керілуді азайту, конформанс бақылауы, масса беру.

2. Қабат талаптары – қалыңдық, өткізгіштік, жіктелу, температура, минералдану, саздылық, газ қақпағы немесе су түбі.

3. Үстіңгі инфрақұрылым – бу генерациясы, су дайындау, химиялық ерітінді дайындау, компрессорлық қуат, коррозияға қарсы жүйе.

4. Операциялық тәуекел – арна түзілу, ерте жарып шығу, эмульсия, тұнба, құм ілесуі, реагент деградациясы, HSE.

5. Энергия және су ізі – тікелей сандық бағалау бұл мәтінде берілмейді, тек тәуекел профилі сипатталады.

Талдау процедурасы

Әр әдіс үшін «механизм-тәуекел-реттеу тұтқасы» үштігі құрылды. Кейін әдістер гибридтелген кезде (мысалы, бу + еріткіш, бу + көбіктік конформанс, полимер + төмен тұздылық) синергия қай тұстан пайда болатыны белгіленді. Көбіктік және конформанс идеялары ауыр мұнайдағы бу және су тиімділігін арттырудың жиі қолданылатын бағыты ретінде танылған.

Нәтижелер

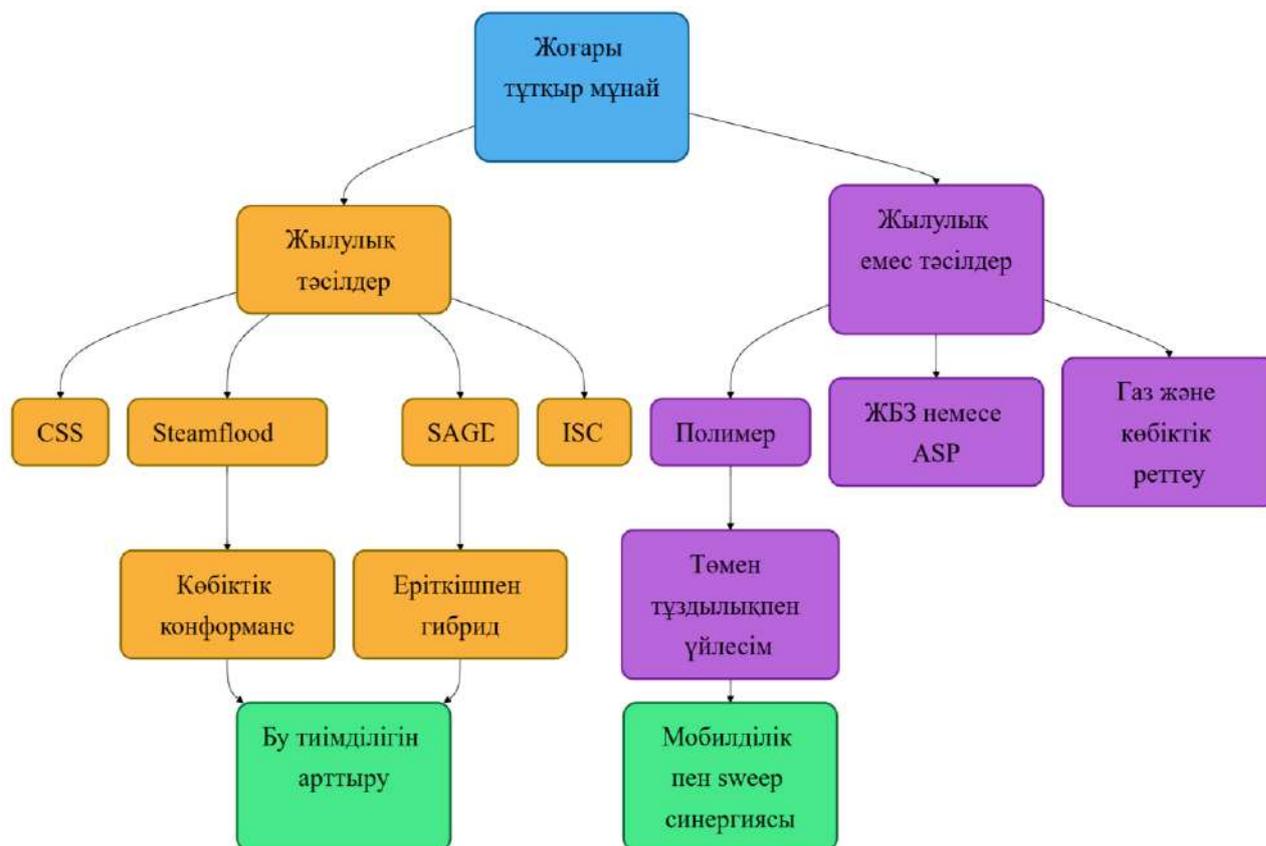
1-кесте. Жоғары тұтқыр мұнайда қолданылатын заманауи әдістердің механизмдік салыстыруы

Әдіс	Механизмдік өзек	Қолданылу терезесі (сапалық)	Негізгі артықшылық	Негізгі шектеу
Циклдік бу әсері (CSS)	Ұңғы маңын қыздыру, тұтқырлықты күрт төмендету	Қабат қалыңдығы шектеулі болса да іске асады	Жылдам өндірістік жауап, салыстырмалы	Бу тиімділігі уақыт өте төмендейді,

			қарапайым енгізу	жылу жоғалту жоғары
Бу айдау (steamflood)	Жылу фронтымен ығыстыру, конденсатпен ығыстыру	Үлкен аумақты қамтиды	Масштабталуы жоғары	Override, су және отын шығыны, гетерогенді қабатта арна түзілу
SAGD	Екі горизонталды ұңғы, бу камерасы, гравитациялық дренаж	Қалыңдау, үздіксіз коллекторда тиімді	Жоғары тұрақты дебит, басқарылатын камера	Қабат жұқа немесе жіктелген болса тиімділік төмендейді
Еріткішпен біріктірілген SAGD (co-injection)	Еріткішпен тұтқырлықты қосымша төмендету, массаберу	Битум және аса ауыр мұнайда қызықты	Бу шығынын төмендетуге әлеует	Еріткіш шығыны және қайтарымының белгісіздігі
Полимерлік айдау	Су тұтқырлығын арттыру, қозғалғыштық қатынасын жақсарту	Температура және тұздылыққа сезімтал	Су айдауды «тәртіпке келтіреді», sweep өседі	Минералдану, деградация, инъективтілік тәуекелі
ASP немесе СП (сілті-ЖБЗ-полимер)	IFT азайту + M түзету + кейде wettability	Реагент үйлесімділігі қажет	Қалдық мұнайды мобилизациялау әлеуеті	Химиялық күрделілік, тұздану, тұнба тәуекелі
Көбіктік конформанс (газ-су-ЖБЗ)	Газдың селективтілігін арттыру, арнаны жабу	Газ арналануы бар кезде пайдалы	Бу немесе газ тиімділігін арттыра алады	Тұрақтылық, реагент таңдауы, бакылау күрделі
Қабатішілік жандыру (ISC)	Тотығумен жылу өндіру, фронтпен ығыстыру	Су тапшылығында өзекті	Су тұтынуы төмен, жылу қабат ішінде	Фронт тұрақтылығы, HSE, жобалау күрделі

1 кестедегі полимер бағыты бойынша ауыр мұнайға арнайы скрининг пен жинақталған деректер бар екені Saboogian-Юоубагі еңбегінде негізделген. Ал ISC бойынша қазіргі заманғы далалық және зертханалық прогрестің толық картинасын ACS мақаласы ашады.

Прорва көтерілімдердегі контекстте бір ғана әдіске байлану қауіпті. Жылулық әдіс тұтқырлықты жеңеді, бірақ гетерогендік пен арна түзілу мәселесін өздігінен шешпейді. Полимер немесе көбіктік конформанс дәл осы «ығыстыру геометриясын» түзейді, алайда тұтқырлық тым жоғары болса, алдымен реологиялық терезені ашу керек. Осыдан екі сатылы логика пайда болады: (1) жылулық әсер арқылы мұнайды ағынға келтіру, (2) кейін sweep пен конформансты басқару.



Сурет 1. Әдістердің жіктелуі және синергия түйіндері

Сурет 1-де берілген жіктелу екі маңызды ойды айқындайды. Біріншіден, жоғары тұтқыр мұнай үшін жылулық әсер көп жағдайда «кіру шарты» ретінде көрінеді: мұнай ағынға келмей тұрып, полимер немесе көбіктік реттеу толық дәлдігін көрсете алмайды, себебі контактілік көлем, массаберу және қысымдық байланыс әлсіз болады. Екіншіден, жылулық процестің өзі көбіне sweep мәселесін автоматты шешпейді - әсіресе қабат гетерогенді болса, бу немесе ыстық су жоғары өтімді жолдармен жүріп, ерте жарып шығуға бейім. Осы жерде синергия түйіндері пайда болады: жылулық әдіс тұтқырлықты «құлатады», ал конформанс пен қозғалғыштықты басқару құралдары жылудың және айдау агентінің кеңірек көлемге таралуын қамтамасыз етеді.

Практикада бұл синергияны «жылу плюс конформанс» немесе «жылу плюс еріткіш» типіндегі гибридтер құрайды. Еріткішпен бірге айдау (co-injection) жылулық камерада қосымша тұтқырлық төмендету эффектісін беріп, будың меншікті шығынын төмендетуге бағытталады, ал көбіктік немесе полимерлік шаралар steamflood кезінде арналық ағымға қарсы тұратын реттегіш ретінде қарастырылады. Мұндай логикада технологияның атауы емес, басқарылатын физикалық параметр маңызды: тұтқырлық, қозғалғыштық қатынасы, ағын геометриясы, және фронт тұрақтылығы. Сондықтан келесі қадам ретінде әдістерді қабаттық сценарийлерге бейімдейтін таңдау матрицасы қажет болады.

Прорва көтерілімдердегі ықтимал өндірістік сценарийлер үшін «бір өлшемді емес» таңдау логикасын береді: әр сценарийдің басым тәуекелі алдымен анықталады, содан кейін сол тәуекелді ең тиімді басатын бастапқы технология іріктеледі, ал екінші деңгейде күшейткіш құрал қосылады. Бұл тәсілдің артықшылығы - ол технологияларды жарыстырмайды, қайта олардың функционалдық рөлін бөледі: бір әдіс реологияны түзетсе, екіншісі sweep пен конформансты түзетеді.

Полимерлік айдаудың дәл осындай «тәртіпке келтіруші» рөлі ауыр мұнайға арналған деректерде жақсы көрінеді. Жарты ғасырлық лабораториялық және далалық материалдарды

жинақтаған жұмыс ауыр мұнайда полимердің қолданылуы соңғы екі онжылдықта әсіресе горизонталды ұңғымалардың кеңеюімен және полимер өндірісінің жетілуімен күшейгенін көрсетеді, әрі ауыр мұнай үшін скрининг өлшемдерінің эволюциясын береді. Бұл жерде түйін - полимердің міндеті әрдайым «өте идеалды қозғалғыштық қатынасын» қуып жету емес, көп жағдайда sweep көлемін ұлғайту және ерте су жарып шығуды тежеп, өндіру қисығын тұрақтандыру.

Далалық табыстылыққа келсек, Pelican Lake ауыр мұнай кенішіндегі полимер айдаудың өндірістік деңгейде іске асуы ауыр мұнайға полимерді қолдануға прагматикалық сенім қосты: жобада инъективтілік, су үлесінің динамикасы, және инкременттік мұнай өндірісі сияқты көрсеткіштер арқылы тиімділік дәлелденген. Әрине, бұл нәтижені Прорва көтерілімдердегі геологиялық жағдайға механикалық көшіруге болмайды, бірақ кестедегі «екінші кезектегі күшейткіш» ретінде полимерді қарастырудың ғылыми негізі бар екенін көрсетеді.

2-кесте. Прорва көтерілімдердегі ықтимал өндірістік сценарийлерге бейімдеу

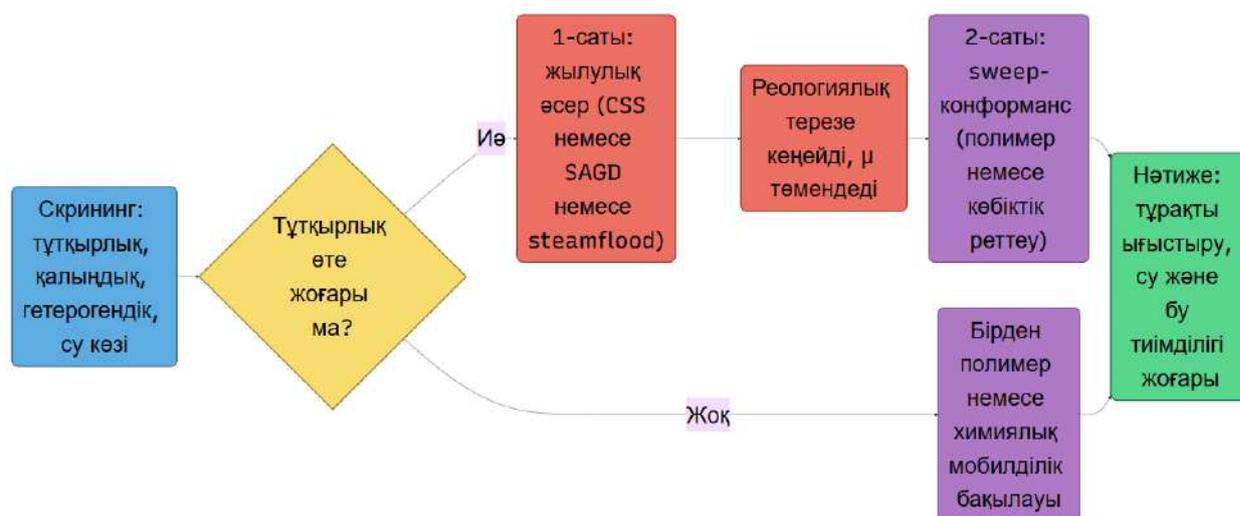
Сценарийлік белгі	Басым тәуекел	Бірінші кезектегі технологиялық жауап	Екінші кезектегі күшейткіш	Басқару индикаторы (сапалық)
Қабат жұқа, бірақ өткізгіш	Жылу жоғалту, камера тұрақсыздығы	CSS немесе бу импульстары	Полимер арқылы sweep, су арнасын тежеу	Су үлесінің динамикасы, қысым жауаптары
Қабат қалың, салыстырмалы біртекті	Жоғары тұтқырлық	SAGD	Еріткіш қоса айдау немесе көбіктік конформанс	Бу камерасының кеңеюі, дебит тұрақтылығы
Айқын гетерогендік, арна түзілу	Ерте breakthrough	Steamflood + шаралары	Көбіктік немесе гельдік өңдеу	Инъекция профилі, трассерлік бақылау
Су көзі шектеулі	Су тапшылығы, бу генерациясы қиын	ISC	Процесті қауіпсіздендіру пакеті	Фронт тұрақтылығы, газ құрамы
Жоғары минералдану, температура жоғары	Химиялық деградация	Жылулық басым	Арнайы полимер тандау, оттек және темірді бақылау	Ерітінді тұрақтылығы, инъективтілік

2-кестедегі сценарийлердің ішінен ең «қиын» комбинация - қабат гетерогендігі жоғары, әрі су көзі немесе бу генерациясы шектеулі жағдай. Мұнда steamflood немесе SAGD секілді жылулық әдістің техникалық іске асуы мүмкін болғанның өзінде, су мен энергия ізі, коррозия, құм ілесуі, сондай-ақ арналық ағым тәуекелі жобаның экономикалық және қауіпсіздік контурын күрделендіреді. Осы тұста қабатішілік жандыру (ISC) сияқты су тұтынуы төменірек болатын жылулық технологияларға қызығушылық артады, бірақ олар «басқаруы күрделі» классқа жатады: тотығу кинетикасын, фронт тұрақтылығын және газ құрамын үздіксіз бақылау талап етіледі. ISC бойынша соңғы ғылыми синтездерде дәл осы мәселелер - реакциялық механизмдерден бастап далалық жобалау мен операциялық тәуекелдерге дейін - технологияны таңдауда шешуші фактор ретінде көрсетіледі.

Ал «жоғары минералдану және температура жоғары» сценарийінде полимер мен ЖБЗ жүйелерінің химиялық тұрақтылығы бірінші орынға шығады: деградация, тұнба түзілу, темір иондарының каталитикалық әсері, оттектің қатысуы, ерітіндінің реологиялық қасиетінің өзгеруі сияқты құбылыстар инъективтілікке тікелей әсер етеді. Сондықтан кестеде мұндай жағдайда «жылулық басым» деп берілгені қисынды: жылулық әсер мұнайды мобилдендірген соң, тек арнайы таңдалған реагенттермен және сапаны қатаң бақылаумен ғана екінші кезеңге өту қауіпсіз болады. Осы логика кестеде «екі сатылы» тәсілге табиғи түрде әкеледі: алдымен реологияны жеңу, кейін sweep пен конформансты инженерлік деңгейде басқару.

Сурет 2-де ұсынылған «термо-химиялық екі сатылы хаттама» Прорва көтерілімдердегі жоғары тұтқыр мұнай үшін технологиялық шешімді бір желіге келтіреді. Бірінші сатыда мақсат - қабаттағы мұнайдың ағынға келуін қамтамасыз ету, яғни тұтқырлық тосқауылын жылулық әсер арқылы азайту (CSS, SAGD немесе steamflood режимдері). Екінші сатыда мақсат өзгереді: енді басты мәселе тұтқырлық емес, ығыстырудың кеңістіктік тиімділігі, арналарды тежеу және фронттың тұрақтылығы болады. Дәл осы жерде полимер және көбіктік конформанс құралдары қосылады.

Көбіктік реттеу жылулық процестермен бірге қолданылғанда бу немесе газ фазасының қозғалғыштығын төмендетіп, жоғары өтімді арналарға «селективті кедергі» жасауға қабілетті. Соңғы жылдары полимермен күшейтілген көбіктің (polymer-enhanced foam) жұқа ауыр мұнай қабаттарында sweep тиімділігін арттыру әлеуеті микромодель және core-flood деңгейінде дәлелденген, әрі механизм ретінде көбіктің тұрақтануы мен қысымдық қайта бөлінуі талданған. Бұл нәтиже Сурет 2-дегі екінші сатымен жақсы үйлеседі: жылулық әсерден кейін қабатта қозғалыс басталғанда, көбіктік немесе полимерлік жүйе айдау агентінің траекториясын «тәртіпке келтіреді».



Сурет 2. «Термо-химиялық екі сатылы хаттама»

Ұсынылған хаттаманың практикалық мағынасы - жобаны «бірден бәрін жасау» логикасынан құтқарады. Бірінші сатыда оператор негізгі параметрлерді бақылайды: бу сапасы, айдау қысымы, жылулық әсер аймағының дамуы, өндіру дебитінің және су үлесінің динамикасы. Бұл кезеңде мақсат - қабаттың жұмыс режимін тұрақтандыру және реологиялық терезені кеңейту. Екінші сатыға өту туралы шешім «уақыт бойынша» емес, нақты индикаторлар бойынша қабылданады: дебиттің тұрақтануы, су үлесінің мінез-құлқы, қысым жауабы, және айдау профилінің біртіндеп теңелуі.

Екінші саты басталғанда инженерлік фокус конформансқа ауысады. Полимер енгізілсе, негізгі қауіп - инъективтілік пен деградация, сондықтан ерітінді сапасы, тұздану, оттек, темір иондары және механикалық қоспалар қатаң бақыланады. Көбіктік жүйе қолданылса, оның

тұрақтылығы мен қабат жағдайына бейімделуі, сондай-ақ айдау режимін дұрыс конфигурациялау шешуші болады. Осылайша, хаттама Прорва көтерілімдердегі жоғары тұтқыр мұнайда тәуекелді басқарудың құрылымын береді: бірінші саты тұтқырлық тәуекелін азайтады, екінші саты sweep және арна тәуекелін азайтады. Нәтижесінде технологиялық шешім тек «әдіс атауы» болып қалмай, бақылауға болатын параметрлер жүйесіне айналады.

Талқылау

Жоғары тұтқыр мұнайда бірінші тосқауыл - қозғалыстың өзі. Егер мұнай қабат температурасында «ағынға келмесе», ең мінсіз химиялық ығыстырғыш та толық әсер бере алмайды, себебі массаберу мен контакт жеткіліксіз қалады. Жылулық әдіс бұл тосқауылды ашады: тұтқырлық төмендейді, мұнай дренажға келеді. Бірақ осы сәтте екінші тосқауыл пайда болады - қабаттың гетерогендігі жылуды да, суды да ең өтімді жолмен жүргізеді. Мұнда полимер немесе көбіктік конформанс «жылуды дұрыс геометриямен жеткізуге» мүмкіндік береді.

Pelican Lake тәжірибесі ауыр мұнайда полимердің өнеркәсіптік деңгейде жүретінін көрсетті. Бірақ дәл сол материалда да әдістің табысы коллектор ерекшелігі мен операциялық тәртіпке тәуелді екені сезіледі: Прорва көтерілімдердегі жағдайды қайтадан жергілікті параметрлермен дәлдеу қажет.

SAGD-тің идеясы бу камерасын жоғарыдан өсіріп, төмендегі өндіруші ұңғыға ауыр мұнайдың «жылыған» бөлігін гравитациямен ағызу. Тәжірибелік сызба мысалы ретінде SAGD қимасының бейнелері кең тараған. Geoscience Frontiers мақаласы SAGD-тің даму бағыттарын, қабат күрделенгенде тиімділіктің төмендеу себептерін және болашақтағы технологиялық векторларды сипаттайды. Steamflood, керісінше, классикалық айдау-өндіру торы арқылы жылу фронтымен ығыстыруға сүйенеді, ал фронттың жоғары көтерілуі және гетерогендік мәселелері жиі кездеседі.

ISC-тің басты артықшылығы - жылуды сырттан тасымалдау емес, қабатта өндіру. Алайда дәл осы жерде тотығу реакцияларының кинетикасы, фронттың тұрақтылығы және қауіпсіздік факторы шешуші болады. Energy and Fuels мақаласы ISC бойынша соңғы прогресті және далалық жобалар контурын береді. Прорва көтерілімдердегі қолданылу мүмкіндігін бағалағанда HSE талаптары мен газ құрамын бақылау жүйесі алдын ала «жобаның өзегіне» айналуы тиіс. Полимерлік айдауда ғылыми өзек - су фазасының тұтқырлығын өсіріп, қозғалғыштық қатынасын жақсарту арқылы ығыстыру фронтын тұрақтандыру. Saboogian-Юоубари еңбегі ауыр мұнай жағдайында полимердің тиімділігін дәлелдейтін деректер жиынтығын береді және ауыр мұнайға лайықталған скрининг ұсынады. Ал практикалық жобалау қағидалары SPE материалдарында «жоба дизайнының негізгі аспектілері» ретінде нақтыланады.

Қорытынды

Прорва көтерілімдердегі тұтқырлығы жоғары мұнай қабаттарында мұнай беруді арттыру міндеті бір ғана технологияны таңдаумен шешілмейді - мұнда реология, жылудың таралу геометриясы, қабаттың гетерогендігі және үстіңгі инфрақұрылым шектеулері бір мезгілде әсер етеді. Сондықтан тиімді стратегия «әдістерді салыстыру» деңгейінде тоқтамай, әр әдістің қандай физикалық бөгетті әлсірететінін және қандай тәуекелді күшейтуі мүмкін екенін алдын ала ажыратып, содан кейін ғана қабат сценарийіне сәйкес жүйелі комбинация құруға сүйенуі тиіс.

Жылулық әдістердің басты артықшылығы түсінікті: жылу мұнай тұтқырлығын төмендетіп, қозғалысқа әкеледі, яғни ең негізгі реологиялық тосқауылды ашады. Бірақ дәл осы сәтте екінші, көбіне шешуші мәселе шығады - жылудың және айдау агентінің қабат ішіндегі таралуы. Егер коллектор жіктелген болса, бу немесе ыстық су ең өтімді жолдармен өтіп, ерте breakthrough тудырады да, жылудың едәуір бөлігі sweep кеңейтпей жұмсалады. Бұл құбылыс SAGD және steamflood режимдерінің практикасына тән: мәселе жылуды беру емес, жылуды пайдалы көлемге жеткізу. SAGD туралы Geoscience Frontiers мақаласында

технологияны жұқа супер-ауыр мұнай қабаттарына бейімдеудің қажеттілігі дәл осы геометриялық және гетерогендік шектеулермен байланыстырылады.

Демек, Прорва көтерілімдердегі үшін басты қорытындының өзегі - жылулық әдістердің ұзақмерзімді тиімділігі конформанс пен sweep басқарылуына тәуелді. Бұл жерде жылулық емес құралдар - полимер, көбіктік конформанс, гельдік өңдеу - қосымша опция емес, жылулық энергияның пайдалы жұмысын ұлғайтатын инженерлік тетік ретінде қарастырылуы керек. Ауыр мұнайға арналған полимер айдаудың жарты ғасырлық лабораториялық және далалық материалдарын жинақтаған зерттеу полимердің ауыр мұнайда да қолданылатынын және соңғы онжылдықтарда бұл бағыттың күшеюін нақты деректермен көрсетеді.

Су және энергия ресурстары шектеулі болғанда технологиялық таңдау да өзгереді. Мұндай жағдайда қабатішілік жандыру (in-situ combustion) су тұтынуының контуры тұрғысынан тартымды болып көрінгенімен, басқарылуы күрделі: фронт тұрақтылығы, тотығу кинетикасы, газ құрамын бақылау және қауіпсіздік тәуекелі жобаның өзегіне айналады. Бұл бағыттың қазіргі прогресі мен далалық қолданылу контурлары Energy & Fuels жарияланымдарында жүйелі түрде талданады.

Ұсынылған «термо-химиялық екі сатылы хаттама» осы күрделілікті басқарудың жинақы құрылымын береді. Бірінші сатыда мақсат - реологиялық тосқауылды ашу, яғни мұнайды қозғалысқа келтіру; мұнда CSS, SAGD немесе steamflood секілді жылулық шешімдер негізгі рөл атқарады. Екінші сатыда мақсат басқа: енді басты мәселе - sweep кеңейту және арналық ағымды тежеу, сондықтан полимер немесе көбіктік конформанс құралдары қосылады. Steam-foam процесі бойынша Chemical Engineering Science мақаласы бу көбігінің таралу механизмі мен конформанс әлеуетін эксперимент арқылы ашып, бұл құралдың нақты гидродинамикалық қайта бөлініс тудыратынын дәлелдейді.

Соңғы, бірақ принципті қорытынды - жылулық жобаның бағасы тек өндірілген мұнаймен өлшенбейді. Жылулық игерудің энергия, су және экологиялық контурын қоса есептеу қажеттігі Applied Energy тәрізді басылымдарда SAGD нысандары үшін тікелей көрсетіледі, яғни технологиялық табыс қабат физикасымен бірге жерүсті инфрақұрылымның сенімділігіне де тіреледі.

Осылайша, Прорва көтерілімдердегі жоғары тұтқыр мұнайда ең орнықты шешім - жылулық әсер арқылы мұнайды мобилдендіріп, кейін конформанс және sweep басқару арқылы жылудың пайдалы жұмысын арттыру. Бұл тәсіл технологиялардың атын көбейтпейді - керісінше, жобаны өлшенетін индикаторлармен басқарылатын жүйеге айналдырады: су үлесінің динамикасы, қысым жауабы, инжекция профилі, камера немесе фронт дамуы. Нәтижесінде өндірістік тиімділік артады, ал тәуекелдер басқарылатын деңгейге түседі.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Lam-Maldonado M., et al. Extra heavy crude oil viscosity and surface tension behavior. 2023. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9922782/>
2. Saboorian-Jooybari H., Dejam M., Chen Z. Heavy oil polymer flooding from laboratory core floods to pilot tests and field applications: Half-century studies. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2016. DOI: 10.1016/j.petrol.2016.01.023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410516300237>
3. Delamaide E., Zaitoun A., Renard G., Tabary R. Pelican Lake Field: First Successful Application of Polymer Flooding in a Heavy Oil Reservoir. SPE Reservoir Evaluation and Engineering. 2014. DOI: 10.2118/165234-PA. <https://onepetro.org/REE/article/17/03/340/453367/Pelican-Lake-Field-First-Successful-Application-of>
4. Wang D., Seright R.S., Shao Z., Wang J. Key Aspects of Project Design for Polymer Flooding. SPE. 2008. DOI: 10.2118/109682-MS. <https://doi.org/10.2118/109682-MS>
5. Bai Y., et al. The Enhanced Oil Recovery Mechanisms in Heavy Oil Reservoirs after Multiple Cycles of Steam Stimulation. Energy and Fuels. 2021. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.5c00275. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5c00275>
6. Yang M., et al. In-Situ Combustion for Heavy Oil and Oil Sands Recovery: Recent Progress, Field Applications, and Future Perspectives. Energy and Fuels. 2024. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.3c05067. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.3c05067>
7. SPE. In-situ combustion (general information). <https://onepetro.org/spe/general-information/1735/In-situ-combustion>
8. Lebedev I.I. Tectonics of the Caspian Sea Platform. 1999. DOI: 10.3997/2214-4609.201408039. <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201408039>
9. Ажғалиев Д.К. Уточнение направлений поисковых работ и новые возможности расширения ресурсной базы по углеводородам южной части ... (Прорвинская зона поднятий). 2024. <https://cyberleninka.ru/article/n/utochnenie-napravleniy-poiskovyh-rabot-i-novye-vozmozhnosti-rasshireniya-resursnoy-bazy-po-uglevodorodam-yuzhnoy-chasti>
10. Al'zhanov A.A., Vasil'yev Yu.M., Mul'muchuk V.S. New Data on the Geology and Oil-Gas Productivity of the Prorva Group of Structures. Petroleum Geology: Digest of Russian Literature. 1965. https://archives.datapages.com/data/rus_pet_geol/data/009/009001/pdfs/23.pdf

СОДЕРЖАНИЕ CONTENT

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ TECHNICAL SCIENCES

САМАТОВА УМУТАЙ ТОРОБЕКОВНА, ЖОРОВА НАЗГУЛ, РИСДАВЛАТОВА НАЗГУЛЬ АБДУСАТТАРОВНА, КУБАНЫЧБЕК КЫЗЫ ЭЛМИРА МАТЛАВ ПРОГРАММАСЫНДА СИНГУЛЯРДЫК ЧЕКТИК МАСЕЛЕЛЕРДИ ЧЕЧУҮНҮН АВТОМАТТАШТЫРЫЛГАН АЛГОРИТМИ.....3

Д.Ә.ЧЕРНАЕВ, ТУРМАМБЕКОВ Т. [ШЫМКЕНТ, ҚАЗАҚСТАН] АСПАН МЕХАНИКАСЫН ОҚЫТУ.....13

Д.Ә.ЧЕРНАЕВ, ТУРМАМБЕКОВ Т. [ШЫМКЕНТ, ҚАЗАҚСТАН] АСПАН СФЕРАСЫН ОҚЫТУДЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....16

БЕРДИЕВ ДОРОБ МУРОТОВИЧ, LIANG ZHENGLONG, ИБРОХИМОВА МУҚАДДАС МУХАММАД СОБИР ҚИЗИ [ТОШКЕНТ] НИКЕЛЬ АСОСЛИ ОЛОВБАРДОШ ҚОТИШМАНИНГ СТРУКТУРА ҰЗГАРИШИНИ ТАҒЛИЛИ.....20

КЕҢЕСБАЙ БЕКНҰР АМАНГЕЛДІҰЛЫ, КАЛИЕВА КАЗИМА ЖАНБЫРБАЕВНА [АЛМАТЫ, ҚАЗАҚСТАН] 6-35 КВ ЗЛЕКТР ТОРАПТАРЫНДА АСҚЫН КЕРНЕУДЕН ҚОРҒАНУДЫҢ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ.....27

S.G. KHASAYEVA, CH.G.GULALIYEV, E.I.MENTIYEV [AZERBAIJAN] RADIOECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE DISTRIBUTION OF NATURAL RADIONUCLIDES IN THE SOIL COVER OF THE NORTEASTERN REGION OF AZERBAIJAN.....30

БУЛАТОВА ДИНА САДЫРОВНА, КИРГИЗБАЕВА К.Ж., ЖУМАГАЛИ А.К. [АСТАНА, ҚАЗАХСТАН] РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВЫХ ТЕРМОМЕТРОВ.....37

АЙБЕКҚЫЗЫ АЯУЛЫМ, ЖАЛГАСБАЕВА ЕРКЕНУР, КҮЗЕМБАЕВА ГАУХАР ҚАНАШҚЫЗЫ, СЫДЫҚБАЕВ ЖЕҢІС ТІЛЕШҰЛЫ, КҮЗЕМБАЕВ ҚАНАШ [АЛМАТЫ, ҚАЗАҚСТАН] СОЯ ДӘНДЕРІНІҢ ЫЛҒАЛДАНУ ДИНАМИКАСЫ.....40

АЙБЕКҚЫЗЫ АЯУЛЫМ, АНАШБАЕВА АРУЖАН, ЖУМАТАЙ АСХАТ, СЫДЫҚБАЕВ ЖЕҢІС ТІЛЕШҰЛЫ, КҮЗЕМБАЕВ ҚАНАШ [АЛМАТЫ, ҚАЗАҚСТАН] СОЯ ДӘНДЕРІНДЕГІ АНТИҚОРЕКТІК ЗАТТАРДЫ ЖОЮ ТӘСІЛДЕРІ.....44

MUBARYAKOVA ARUZHAN BAURZHANOVNA, MUSTAFAYEVA AYAULYM KAKENOVNA [ASTANA, KAZAKHSTAN] DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF A NATIONAL FERMENTED MILK PRODUCT FROM CAMEL MILK.....49

КУАНЫШЕВА ЗЭРУ ҚАДЫРХАНҚЫЗЫ, МУСТАФАЕВА АЯУЛЫМ КАКЕНОВНА [АСТАНА, ҚАЗАҚСТАН] СҮТ ҚЫШҚЫЛДЫ СУСЫН РЕТІНДЕ САРЫСУ НЕГІЗІНДЕГІ ӨНІМ РЕЦЕПТУРАСЫН ЖЕТІЛДІРУ.....55

АРЫНОВА Ш.Ж., НҰРҒАЛИ Е.Е. [ПАВЛОДАР, ҚАЗАХСТАН] «ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА НА НЕФТЕХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СОЦИОЛОГИЧЕСКОГО ОПРОСА)».....62

КАЛАНДАРОВ НУРУЛЛО АБДУГАФОРОВИЧ [БОХТАР, ТАДЖИКИСТАН] СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ И ЕГО ПОЛЬЗУ НАСЕЛЕНИЯ.....	66
ЗОХИРОВА ШАХНОЗА МУРОДИЛЛАЕВНА [УЗБЕКИСТАН] ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ.....	69
ƏLİYEV İLQAR QIYAS OĞLU, YUSİFOV MAARİF ZABİT OĞLU, MƏMMƏDOV ASƏF ŞANXAY OĞLU [BAKİ, AZƏRBAYCAN] QAZ KƏMƏRLƏRİNDƏ QEYRİ-STASİONAR AXIN ŞƏRAİTİNDƏ SIZMALARIN AŞKARLANMASI VƏ AVTOMATİK KLAPANLARIN BAĞLANMA VAXTININ OPTİMALLAŞDIRILMASI ÜÇÜN ANALİTİK MODEL.....	74
КУЛЬДЖАТАЕВ М.М., ДАКИЕВА К.Ж. [УСТЬ-КАМЕНОГОРСК, КАЗАХСТАН] СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ.....	84
ЕРЖАНҒАЛИЕВ ЕРҒАНАТ САПИУЛЛАҰЛЫ [АТЫРАУ, ҚАЗАҚСТАН] ПРОРВА КӨТЕРІЛІМДЕРДЕГІ ТҰТҚЫРЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ МҰНАЙ ҚАБАТТАРЫНЫҢ МҰНАЙ БЕРУІН АРТТЫРУДАҒЫ ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ.....	93

ENDLESS LIGHT IN SCIENCE



Контакт



irc-els@mail.ru

Наш сайт



irc-els.com