

**Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»**

FTAMP 53.29.21

DOI [10.53002/002](https://doi.org/10.53002/002)

ӘОЖ: 662.74

Г.А Ульева<sup>1</sup>, Ж. А Ашкеев<sup>2</sup>, Н.Ж Айкенбаева<sup>2</sup>, Ж.А.Жиренбаева<sup>2</sup><sup>1</sup>АО «Qarmet»<sup>2</sup>Қарағанды индустриялық университеті, Теміртау, Қазақстан

(E-mail: zzhirenbayeva@gmail.com)

**КӨМІР ҚАЛДЫҚТАРЫН БРИКЕТТЕУ ҮРДІСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ**

Мақалада көмір қалдықтарын брикеттеу үрдісін оңтайландыру, немесе талап етілетін беріктігін қамтамасыз ететін зерттеу нәтижелері келтірілген. Отын брикеттерін алу үшін кешенді байланыстырғыштарын қолдана отырып және олардың оңтайлы құрамын тәжірибені жоспарлау әдісі арқылы анықталынып, беріктік қасиетіне әсер етуі зерттелді. Зерттеу нәтижелерін талдасақ әсер етуші екі факторлар мәнді болып табылады, бірақ бірінші фактор ( $X_1$ -сұйық шыны) екінші фактордың ( $X_2$  –балшық) әсерімен салыстырғанда үлкен өйткені регрессия коэффициенті екінші фактордың коэффициентімен салыстырғанда көп. Онымен қоса, брикеттің беріктігін арттыру үшін  $X_1$  факторды арттыру, ал екінші  $X_2$  факторын азайту керек, өйткені  $X_2$  факторының коэффициенті теріс таңбалы болып шықты.

*Түйін сөздер: брикет, сұйық шыны, балшық, гранула, Стьюдент критериясы, беріктік, оңтайландыру параметрі, көмір ұнтақтары.*

*Kіріспе.*

Бүгінгі таңда көмір ұсақ-түйектерін брикеттеу өзекті болып табылады, өйткені жұмыс істеп тұрған жылу электр станциялары үшін де, халық тұтынуы үшін де отынның негізгі түрі қоңыр көмірлер болып табылады, олардың отын тұтынудағы үлесі шамамен 67% құрайды. Қазба көмірді қазу, байыту және тұтыну аймақтарына тасымалдау кезінде жұқа кластардың едәуір саны қалыптасады. Ұсақ көмірдің көп бөлігі үрленеді, және тасымалдау кезінде вагондардан жоғалады, осылайша үлкен шығындарға әкеледі [1].

Эксперименттерді жүргізу кезінде көмір ұсақ-түйектерін кептіру кептіру шкафында сәйкесінше жарнамалық MeMCT-пен жүргізілді. Сондай-ақ, құрылғылар контейнерлер, таразылар және көмір тривиасының үлгілері ретінде пайдаланылды. Бұл ретте технологиялық желіде көмір брикеттерін алу кептіру механикалық қасиеттері бойынша берік брикеттерді алудың негізгі өлшемдерінің бірі болып табылады. Кептіруден кейін үлгілер ұсақталды. Ұнтақтау M-3017 маркалы дірілдейтін шар диірменінде мүмкін болатын барлық түрлерден жүргізілді. Ұзақтығы ұсақтау 5-тен 20 минутқа дейін болды. Алынған үлгілердің мөлшері 5-8 мкм құрайды. Көмір брикеттерінің құрамдас бөліктерінің үлкендігі мен гранулометриялық құрамы. Көмір ұсақ-түйегінің мөлшері азайған кезде бөлшектердің беті ұлғаяды, яғни адгезия күші де артады. Сондай-ақ, үлгілерді ұнтақтау бөлшектердің тығыз орналасуына ықпал етеді.

Дірілдейтін шар диірменін ұнтақтағаннан кейін, материалда тұндыру анализі жүргізілді салмақ бөлшектерінің өлшемдерін анықтау. Бөлшектердің мөлшерін анықтау үшін тұндыру талдауы қолданылады. Айта кету керек, брикеттердің беріктігін арттыру үшін байланыстырғыштар санының оңтайлы мазмұнын анықтау үшін экспериментті жоспарлау әдісі қолданылды. Демек, жоспарлау әдісі бойынша үлгілер кезектесіп орналасады 4 үлгі мұнда үлгілердің шихтасының құрамы (сұйық шыны, саз және көмір) әр түрлі болды 5-тен 10% - ға дейін.

Алынған брикеттер көмір брикеттерін алу технологиясының шарттарына сәйкес келеді. Диаметрі 30 мм, биіктігі 20 мм, салмағы 18 гр. Қорытынды кезең-бұл үлгілерді сынау, яғни біздің үлгілерді қысу күшіне тексеру. MeMCT 8905-82 бойынша механикалық қысу беріктігі зертханалық жағдайда 2 ПГ-10 маркалы гидравликалық преста де жүргізілді. Екі факторлы эксперименттің нәтижелерін өңдеу келесі бөлімде төменде келтірілген.

## Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

### Зерттеу әдістемесі

Сонымен, алға қойылған міндеттеріміздің бірі осы ұсынылып отырған байланыстырғыштардың оңтайлы құрамын анықтау үшін екі факторлы тәжірибе өткізілді брикетің тасымалдау жағдайында талап етілетін беріктігін қамтамасыз ететін. Мәнді байланыстырғыштар ретінде  $X_1$ -сұйықшыны және  $X_2$  -балшық заттар мөлшерін алдын ала қабылдадық, ал оңтайландыру параметрі ретінде брикетің У-беріктігін қабылдадық, сынақ машинасында брикетті сығу кезінде анықталынатын (МПа). Бұл екі фактордың қолданудың маңызды шарты – тасымалдау кезінде талап етілетін брикеттің беріктігін қамтамасыз етуі болып табылады.

1 -кесте

Көмір брикет беріктігіне әсер етуші факторлардың өзгеру деңгейлері

Деңгейлер	Факторлар	
	$X_1$ (сұйықшыны), г	$X_2$ (балшық), г
Жоғарғы деңгей	1,8	1,8
Төменгі деңгей	0,9	0,9
Өзгеру интервалы, $\Delta X_i$	0,45	0,45
Негізгі деңгей	1,35	1,35

Факторлардың өзгеру деңгейлерін тәжірибелерді орындау мүмкіндігі түсінігінен технологиялық шектеулерде шегінен және маңызды мәнді нәтижелер алуда, тәжірибенің қателіген асатын түсінігінен таңдалды. Берілген жағдайымызда факторлар жән олардың мәндері 1-кестеде келтірілген. Жоспарлау матрицасын және тәжірибе жүргізу картасын құрамыз.

2-кесте

Тәжірибе жүргізу картасы

Тәжірибе нөмері	Жоспарлау матрицасы		$X_1 X_2$	Брикетің беріктігі $\sigma_b$ , МПа		
	$X_1$	$X_2$		$y_{u1}$	$y_{u2}$	$\bar{y}_u$
1	-1	-1	+1	11,7	12,1	11,9
2	+1	-1	-1	8,2	8,4	8,3
3	-1	+1	-1	4,9	5,2	5,1
4	+1	+1	+1	12,5	11,9	12,2

Жоспарлау матрицасын құрғаннан соң таңдалған зерттеу нысанында зерттеу тәжірибелер жүргізілді (зертханалық). Тәжірибелер кездейсоқ ретте рандомизация қағидасына сәйкес жүргізілді. Екі сериялы тәжірибе жүргізген соң (әр қайсысында қайталанбайтын амалдармен деңгей факторларымен төрт тәжірибеден)  $y_{u1}$  және  $y_{u2}$  мәндері бағанаға толтырылды (2-кесте).

Ендігі, тәжірибе нәтижелерін өңдеуге және статистикалық талдауға барлық мәліметер алынған соң келесі есептеулер жүргізілді.

1. Әр қатарда оңтайландыру параметрінің (ОП) орташа мәндері есептеледі:

$$\bar{y}_u = \frac{y_{u1} + y_{u2} + \dots + y_{u\gamma}}{\gamma}, \quad (1)$$

Мұнда  $\gamma$  - параллельді тәжірибелер саны, сонда бірінші қатар бойындағы мәндер үшін:

$$\bar{y}_1 = \frac{11,7 + 12,1}{2} = 11,9.$$

Дәл осылай келесі қатар бойындағы ОП мәндері есептелініп нәтижелері тәжірибе жүргізу картасы жазылды немесе  $y_u$  бағанасына енгізілді (2-кесте).

Бұл формулаларды егерде дисперсиялар біртекті болса қолдануға болады, егер оңтайландыру ОП мәндері бірінғай дәлдікпен анықталса.

Сонда, регрессия коэффициенттерін есептеу қарапайымданады, немесе тік бағана қатарындағы таңбалары жазылады және қосындысын тәжірибе санына бөледі.

2. Әр қатардағы дисперсия мәндерін анықтайық (өзгерту дисперсиясы), келесі формула арқылы:

**Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»**

$$S_u^2 = \frac{\sum_{m=1}^{\gamma} (\bar{y}_u - y_{um})}{\gamma - 1}; \tag{2}$$

$$S_1^2 = \frac{(11,9 - 11,7)^2 + (11,9 - 12,1)^2}{2 - 1} = 0,08; S_2^2 = 0,02; S_3^2 = 0,05; S_4^2 = 0,18.$$

Осыдан дисперсияның қосындысы:

$$S_{\Sigma}^2 = \sum_{u=1}^N S_u^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2 + S_4^2 = 0,33. \tag{3}$$

3. Тәжірибелердің тең құқықтығын Кохрен критериясы бойынша тексереді:

$$G = \frac{S_{u_{max}}^2}{S_{\Sigma}^2} = \frac{0,18}{0,33} = 0,55 \tag{4}$$

Мұндағы  $S_{u_{max}}^2$  - дисперсиялардың ең үлкен максималді мәні.

Тәжірибелер тең құқықты болады, егер  $G < G_T$ , шарты орындалса, мұнда  $G_T$ -Кохрен критериясының кестелік мәні,  $N$ ,  $\gamma$  және мәнділік деңгейінен (сенімділікті) тәуелділікте таңдалады. Берілген жағдайда  $N=4$ ,  $\gamma = 2$ ,  $p = 0,95$  кезінде кестелік мәні  $G_T = 0,906$ , яғни  $G < G_T$ .

Тәжірибелердің тең нүктелі емес жағдайында қайталама тәжірибелердің саны немесе олардың дәлдігін арттыру қажет.

4.Регрессия коэффициенттерін келесі формула бойынша есептейміз:

$$b_0 = \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \bar{y}_4}{4} = \frac{11,9 + 8,3 + 5,1 + 12,2}{4} = 9,375; b_1 = 0,875; b_2 = -0,725; b_{12} = 2,675.$$

5. Регрессия коэффициенттерінің мәнділігін тексереміз, ол үшін тәжірибенің дисперсиясын есептейміз:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{m=1}^{\gamma} (\bar{y}_u - \bar{y}_{um})^2}{N(\gamma - 1)} = \frac{\sum_{u=1}^N S_u^2}{N}; \tag{5}$$

$$S_y^2 = \frac{0,33}{4} = 0,082,$$

сонда тәжірибенің дисперсиясының қайталама тәжірибелерді есепке ала отырып,

$$S_{\bar{y}}^2 = \frac{S_y}{\gamma} = \frac{0,082}{2} = 0,041. \tag{6}$$

Дисперсияны анықтаған соң регрессия коэффициенттерінің орташа квадраттық  $S_{b_i}^2$  және қатесін  $S_{b_i}$  анықтаймыз,

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_{\bar{y}}^2}{N} = \frac{0,041}{4} = 0,01; \text{осыдан, } S_{b_i} = \sqrt{S_{b_i}^2} = 0,1. \tag{7}$$

Регрессия коэффициенттері үшін сенімділік интервалы келесіге тең болады,  $\Delta b_i = \pm t S_{b_i}$ , мұндағы  $t$ -Стьюдент критериясының кестелік мәні, еркін дәрежесіне тәуелділігінен және  $f_2 = N(\gamma - 1)$  қатынасына тәуелді таңдалады (мәнділік деңгейі әдетте 0,05).

Кoeffициент мәнді болады, егер оның абсолютті мәні сенімділік интервалынан көп болса,

Берілген жағдайда  $f_2 = 4(2 - 1) = 4$  Стьюдент критериясы мағынасы  $t=2,78$ . Сенімділік интервалы мағынасы  $\Delta b_i = \pm 2,78 \cdot 0,1 = 0,278$ . Алынған коэффициенттерді сенімділік интервалымен салыстырғанда:  $b_0 = 9,375$  мәнді болады,  $b_1 = 0,875$  мәнді,  $b_2 = -0,725$  мәнді,  $b_{12} = 2,675$  мәнді болады. Сонымен барлық факторлар мәнді әсер етеді.

Осылайша регрессия теңдеуінің соңғы түрі келесідей жазуға болады:

$$Y = 9,4 + 0,875X_1 - 0,725X_2 + 2,675X_1X_2$$

6. Енді алынған модельдің адекваттылығын (жарамдылығын) тексеру қажет, яғни алынған теңдеу зерттеу облысында тәжірибе нәтижелерін қаншалықты жақсы сипаттайтынын.

Ол үшін Фишер F критериясын қолданады,

$$F = \frac{S_{ал}}{S_{\bar{y}}^2}, \tag{8}$$

мұнда  $S_{\bar{y}}^2$  – тәжірибенің орташаланған дисперсиясы, (6) формуласымен анықталады;

## Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

$S_{ад}^2$  – адекваттылық дисперсиясын анықтаймыз;

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\widehat{y}_u - \bar{y}_u)^2}{N - k - 1}. \quad (9)$$

Мұнда  $\widehat{y}_u$  – кодталған ауыспалы мағынасы шығу кезінде алынған теңдеу бойынша есептелінген;  $\bar{y}_u$  - ОП орташа мәні; Үлгіні адекватты деп санауға болады, егер  $F < F_{кесте}$ . Фишер критериясының кестелік мәнін бостандық деңгейі санының тәуелділігінен табады  $f_1 = N - k - 1$  және  $f_2 = N(\gamma - 1)$ , ол санды сәйкес дисперсиялардың бөлімдеріне  $S_{ад}^2$  және  $S_y^2$ , және мәнділік деңгейіне тең (көбіне 0,05).

Мұнда  $N$  – жоспарлау матрицасында тәжірибелердің саны;

$k$  – өзгертін факторлар саны;

$\gamma$  – (паралельді) қайталанатын тәжірибелер саны.

Біздің жағдайда  $S_{ад}^2$  анықтау үшін алдымен шығу мағынасын есептейміз, жоғарыда болжалған регрессия теңсіздігімен алынған:

$$\begin{aligned} \widehat{y}_1 &= 9,4 + 0,875(-1) - 0,725(-1) + 2,675(-1) \cdot (-1) = 11,925; \\ \bar{y}_1 &= 11,9 \\ \widehat{y}_2 &= 9,4 + 0,875(+1) - 0,725(-1) + 2,675(-1) \cdot (+1) = 8,325; \\ \bar{y}_2 &= 8,3 \\ \widehat{y}_3 &= 9,4 + 0,875(-1) - 0,725(+1) + 2,675(-1) \cdot (+1) = 5,125; \\ \bar{y}_3 &= 5,1 \\ \widehat{y}_4 &= 9,4 + 0,875(+1) - 0,725(+1) + 2,675(+1) \cdot (+1) = 12,225; \\ \bar{y}_4 &= 12,2 \end{aligned}$$

Есептеулер ыңғайлығы үшін  $S_{ад}^2$  жанына сол шарттар үшін орташаланған тәжірибелі мағыналарды салыстырмалы қойылды. Нәтижесінде келесі теңсіздікті аламыз

$$S_{ад}^2 = \frac{(11,925 - 11,9)^2 + (8,325 - 8,3)^2 + (5,1 - 5,125)^2 + (12,225 - 12,2)^2}{4 - 2 - 1} = 0,0025.$$

Алдында алынған мағына  $S_y^2 = 0,041$ .

Фишер критериясының мағынасын анықтаймыз

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} = \frac{0,0025}{0,041} = 0,06;$$

$F_{кесте} = 7,7$  кезінде  $f_1 = N - k - 1 = 4 - 2 - 1 = 1$ ;

$f_2 = N(\gamma - 1) = 4(2 - 1) = 4$ .

$F < F_{кесте}$ ; яғни алынған үлгінің адекватты екені туралы қорытынды шығаруға негіз бар.

### Зерттеу нәтижелерін талдау

**Алынған** тәжірибелік мәліметтерін талдасақ берілген екі факторлар мәнді болып табылады, бірақ бірінші фактор ( $X_1$ -сұйықшыны) екінші фактормен ( $X_2$  –балшық) салыстырғанда әсері үлкен өйткені бірінші регрессия коэффициенті екінші фактордың коэффициентімен салыстырғанда көп немесе  $b_1 = 0,875$ ,  $b_2 = -0,725$ , және  $b_1 > b_2$ . Айтып кету керек регрессия коэффициенттері әсер етуші факторлардың әсер етуін көрсетеді. Сондықтан бірінші фактор немесе сұйық шыны мөлшері арттыру керек, бірінші фактормен (балшық мөлшерімен) салыстырғанда. Алынған математикалық моделіне  $Y = 9,4 + 0,875X_1 - 0,725X_2 + 2,675X_1X_2$  интерпретациясын берсе келесіге тоқтап кету болады немес бірінші  $X_1$  факторын оң таңбалы болған соң (сұйық шыны мөлшерін) арттыру керек, ал екінші факторын  $X_2$  азайту керек, өйткені ол теріс таңбалы. Сонда сұйықшыны әсері балшықпен салыстырғанда көп деуге болады және балшық мөлшерін көбейтуге тырыспау керек.

### Қорытынды

Осылайша, екі факторлы тәжірибелер арқылы брикеттеу үрдісі үшін байластырғыштар үшін әсер етуші факторларының ең оңтайлы мәндері анықталды. Өткізілген тәжірибелер келесіні көрсетті немесе бірінші  $X_1$  фактор оң таңбалы болған соң (сұйықшыны мөлшерін) оның мөлшерін арттыру керек, ал екінші  $X_2$  фактордың мөлшерін теріс таңбалы болған соң азайту керек. Онымен қоса, алынған

## Раздел 1. «Металлургия, технологии новых материалов»

математикалық модель  $X_1$  фактордын әсері  $X_2$  фактордын әсерімен салыстырғанда мәнді емес екенін көрсеті.

### Әдебиеттер тізімі

1. Елишевич А.Т. Брикетирование угля со связующими. – М.: Недра, 1972. – 3 с.
2. Цымбал В.П. Математическое моделирование металлургических процессов. – М., 1986. – С. 88–93.
3. Ашкеев Ж. А., Талмазан В. А. Планирование и обработка результатов эксперимента: учебное пособие. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2017. – 90 с.

Г. А. Ульева., Ж.А. Ашкеев, Н. Ж. Айкенбаева., Ж.А.Жиренбаева

### ОПТИМИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ОТХОДОВ

В статье приводятся результаты исследований по оптимизации процесса брикетирования угольных отходов или обеспечения требуемой прочности. Исследовано влияние на прочностные свойства топлива с использованием комплексных связующих для получения топливных брикетов и методом экспериментального планирования их оптимального состава. Если мы проанализируем результаты исследования, два влияющих фактора значительны, но первый фактор ( $X_1$ -жидкое стекло) больше по сравнению с эффектом второго фактора ( $X_2$  –глина), потому что коэффициент регрессии больше по сравнению с коэффициентом второго фактора. Кроме того, для увеличения прочности брикета необходимо увеличить фактор  $X_1$ , а второй фактор  $X_2$  уменьшить, так как коэффициент фактора  $X_2$  оказался отрицательным.

*Ключевые слова:* брикет, жидкое стекло, глина, гранула, критерий Стьюдента, прочность, параметр оптимизации, угольные порошки.

G. A. Ulyeva, Zh. A. Ashkeev, N. Zh. Aikenbayeva, Zh. A. Zhirenbayeva

### OPTIMIZATION AND STUDY OF THE PROCESS OF BRIQUETTING COAL WASTE

The article presents the results of a study to optimize the process of briquetting coal waste, or to ensure the required strength. Using complex binders for the production of fuel briquettes and their optimal composition was determined by the method of experimental planning and the influence on the strength properties was studied. If we analyze the results of the study, the two influencing factors are significant, but the first factor ( $X_1$ -liquid glass) is greater compared to the effect of the second factor ( $X_2$  –clay) because the regression coefficient is greater compared to the coefficient of the second factor. In addition, to increase the strength of the briquette, it is necessary to increase the factor  $X_1$ , and reduce the second factor  $x_2$ , since the coefficient of the factor  $x_2$  turned out to be negative.

*Keywords:* briquette, liquid glass, clay, granule, Student criterion, strength, optimization parameter, coal powders.

### References

1. Elishevich A. T. Briquetting with coal with binders. M., Nedra, 1972, 3с.
2. Tsymbal V. P., Mathematical modeling of metallurgical processes. M., 1986.88-93.
3. Ashkeev J. A., Talmazan V. A. Planning and development of experimental results. A study guide. Karaganda State Technical University. Karaganda: publishing house of KarSTU. 2017. 90 P.