

UOT:

**NEFT ŞLAMININ SEMENT ZAVODUNDA YANDIRILARAQ
ZƏRƏRSİZLƏŞDİRİLMƏSİ PROSESİNİN TƏDQIQI**

*Abdullayev Namiq İsfəndiyar oğlu, Abdullayeva Kəmalə Sədrəddin qızı,
Osmanov Vüqar Nazim oğlu
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
abdullayeva.kamala@asoiu.edu.az
vuqar.osmanov@asoiu.edu.az*

Xülasə: Neft şlamının sement zavodunda yandırılaraq zərərsizləşdirilməsi prosesi laboratoriya və pilot miqyaslı eksperimentlər, geniş statistik analizlər və proses mühəndisliyi yanşmaları əsasında öyrənilmişdir. Məqsəd, şlamın tərkibindəki üzvi və qeyri-üzvi maddələrin yüksək temperatur və oksidləşmə şəraitində tam oksidləşdirilməsi, yaranan emissiyaların kimyəvi tərkibinin və səviyyələrinin monitorinqi, həmçinin prosesin enerji geri qazanımı və klinker keyfiyyətinə təsirinin qiymətləndirilməsidir. Əldə olunan nəticələr göstərir ki, optimal yandırma şərtləri (1300–1450 °C) altında neft şlamı tamamilə zərərsizləşdirilir, ağır metallar klinkərə sabitlənir və prosesin enerji səmərəliliyi ilə ekoloji tələblərə cavab verir.

Açar sözlər: neft şlamı, yandırma, zərərsizləşdirmə, sement zavodu, proses mühəndisliyi, statistik analiz, ətraf mühit monitorinqi, klinker

Ключевые слова: нефтяной шлам, сжигание, обезвреживание, цементный завод, инженерия процессов, статистический анализ, мониторинг окружающей среды, клинкер.

Keywords: oil sludge, incineration, disposal, cement plant, process engineering, statistical analysis, environmental monitoring, clinker

Neft sənayesində əmələ gələn şlam, yüksək miqdarda yağ, su, ağır metallar və digər qarışıqları ehtiva edən kompleks tullantı növüdür. Şlamın düzgün emal olunmaması ətraf mühitin çirklənməsinə və insan sağlamlığına ciddi təhlükə yarada bilər. Son illərdə, neft şlamının yüksək temperatur şəraitində yandırılması yolu ilə zərərsizləşdirilməsi həm alternativ yanacaq növündən enerjinin əldə edilməsi, həm də ətraf mühitin qorunması baxımından alternativ texnologiya kimi diqqət mərkəzində olmuşdur [1]. Sement zavodlarında tətbiq olunan yandırma prosesi, yüksək istilik (1300–1450 °C) və oksigenlə zəngin atmosfer şəraiti sayəsində üzvi maddələrin tam oksidləşdirilməsinə və qeyri-üzvi komponentlərin klinkərə inteqrasiya olunmasına imkan verir [2]. Bu məqalə, həm eksperimental, həm də statistik metodlardan istifadə edərək, prosesin mühəndislik aspektlərini, emissiyaların monitorinqini və əldə olunan məhsulun keyfiyyətini elmi əsaslandırma ilə təhlil edir.

Sənaye proseslərindən toplanan və ilkin kimyəvi analiz (yağ, ağır metallar, sulfatlar, pH və s.) əsasında xarakterizə edilmiş nümunələr.

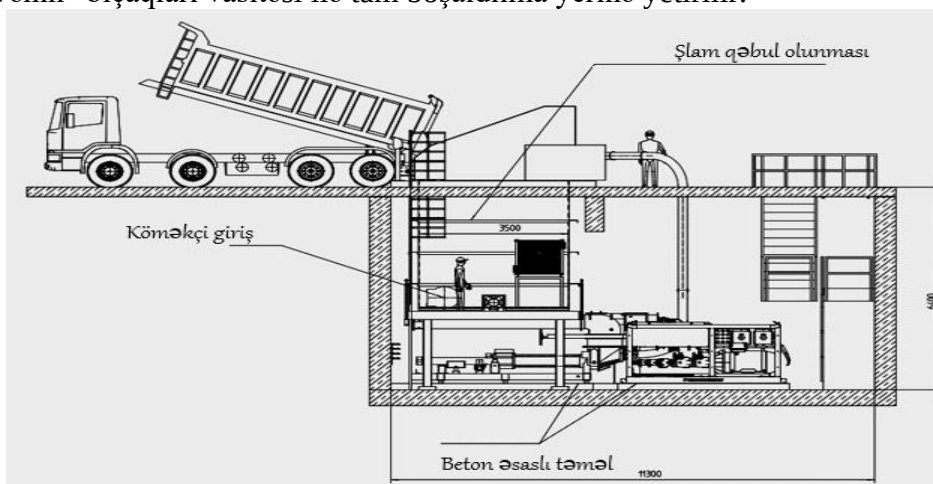
Sement zavodunun xammalı və əməliyyat şəraiti: Xüsusilə, yandırma zonasında tətbiq olunan temperatur (1300–1450 °C), təzyiq, oksigen konsentrasiyası və xammal qarışıqları.

Monitorinq və analiz avadanlıqları: Qaz xromatoqrafiyası, kütlə spektrometriyası, induktivləşdirilmiş plasma kütlə spektrometriyası (ICP-MS), differensial termoqravimetriya (DTG) və differensial skanlama kalorimetrisi (DSC).

Kimyəvi və Fiziki Xüsusiyyətlərin Müəyyən Edilməsi: Neft şlamı nümunələrinin ilkin analizləri aparılmış, üzvi və qeyri-üzvi tərkibi, pH, su və yağ miqdarı müəyyən edilmişdir [3].

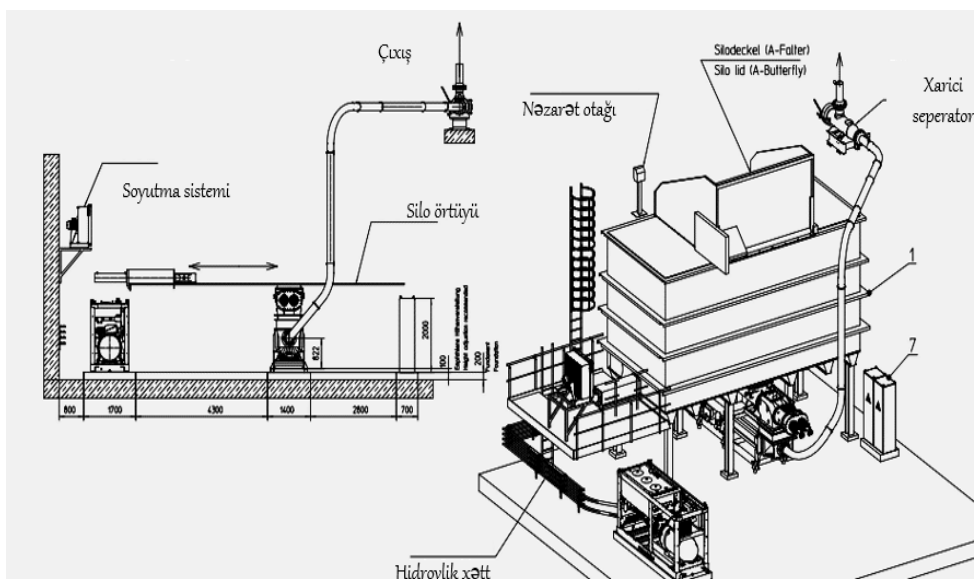
Termal Analiz: DTG və DSC metodları ilə şlamın termal davranışı, yandırma zamanı ayrışma nöqtələri və istilik sərfiyyatı öyrənilmişdir.

Eksperimental Quraşdırma və Texnoloji Proses: Sement zavodunun pilot xəttində neft şlamı xammal qarışığına 2-5% nisbətində əlavə edilmiş və yandırma prosesi həyata keçirilmişdir [4]. Zavod ərazisində tutumu 105 m³ olan, ətraf mühitə sızmaların qarşısının alınması üçün xüsusi PVC materialı ilə izolyasiya olunmuş beton qəbuledici hovuz quraşdırılacaqdır. Bu hovuzdan ətraf mühitə çirkləndirici maddələrin atılmasının minimuma endirilməsi üçün hovuzun üstünün örtülüb-açılan örtüklə quraşdırılacaqdır. Xüsusi maşınlarla zavoda gətirilən neft şlam bu hovuza (qəbuledici hovuza) boşaldılacaqdır. “Sürüşən çərçivənin” bıçaqları vasitəsi ilə tam boşaldılma yerinə yetirilir.



Şəkil 1. Neft şlamı qəbulu hovuzu və qırıcı mexanizmin təsviri

Alternativ yanacaq materialının (neft şlamı) ön isidici qurğuda insinirasiya olması üçün gücü 13,5 m³/saat olan KOS1040 “putzmeister” ilə təmin olunacaqdır[5]. Daxili cüt SHS silindiri materialın silodan boşaldılmasını təmin edir və DN200 borusu köməyi ilə ön isidici qurğuda kalsinator bəsləmə nöqtəsindən 4t/saat həcmində sobanın alternativ yanacaq sistemə daxil ediləcəkdir.



Şəkil 2. "Putzmeister" nasosunun təsviri

Material homogenləşmiş halda ön isidici qurğunun +17,30 (intikal) və +37,30 (kalsinator) metrə hündürlükdə olan iki fərqli bəsləmə nöqtəsinə eyni anda olmamaq şərti ilə daxil edilir və yüksək temperatura məruz qalaraq insinirasiya olunur.

Prosesin parametrlərini monitorinq: Yandırma zamanı temperatur, təzyiq, oksigen səviyyəsi, yanacaq sərfi və digər mühəndislik parametrləri real vaxt rejimində izlənilmişdir.

Emissiya nümunələrinin toplanması: Çıxan qazlar üçün onlayn monitorinq sistemi və əlavə olaraq, qrup nümunələri toplanaraq, qaz xromatoqrafiyası və ICP-MS vasitəsilə analizi aparılmışdır.

Cədvəl 1**Neft şlamın yandırılması zamanı emissiyanın tərkibinin analizi nəticələri**

Parametr	Vahid	Nəticə (17/11 /2023)	Nəticə (28/11/2 023)	Nəticə (12/01 /2024)
Toz	mg/Nm ³	96.3	83.5	85.8
NH ₃	mg/Nm ³	0.0312	0.0215	0.0124
HCl	mg/Nm ³	<0.01	<0.01	<0.01
HF	mg/Nm ³	<0.01	<0.01	<0.01
SO ₂	mg/Nm ³	<0.01	<0.01	<0.01
SO ₂ (kütlə emissiyası)	kg/h	<0.01	<0.01	<0.01
NO _x	mg/Nm ³	298.5	312.6	481.81
NO _x (kütlə emissiyası)	kg/h	87.9	149.6	263.2
VOC	mg/Nm ³	0.0715	0.0512	0.0415
Benzol	mg/Nm ³	0.0315	0.0215	0.0102
Benzopiren	mg/Nm ³	0.0214	0.0232	0.0109
Hg (Civə)	ug/Nm ³	<0.03	<0.03	<0.03
Vanadium (V)	ug/Nm ³	0.0054	0.0043	0.0035
Xrom (Cr)	ug/Nm ³	0.468	0.392	0.324
Manganese (Mn)	ug/Nm ³	0.285	0.185	0.1562
Nikel (Ni)	ug/Nm ³	0.068	0.052	0.036
Mis (Cu)	ug/Nm ³	1.703	1.305	0.962
Arsen (As)	ug/Nm ³	0.0102	0.0112	0.0085
Kadmium (Cd)	ug/Nm ³	0.0285	0.0301	0.0168
Sürmə (Sb)	ug/Nm ³	0.0084	0.0095	0.0035
Tallium (Tl)	ug/Nm ³	0.0182	0.0195	0.0162
Qurğuşun (Pb)	ug/Nm ³	0.4402	0.4602	0.3201

Cədvəl 2**Neft şlamın yandırılması zamanı Dioksin/furan birləşmələri üzrə analiz nəticələri**

(Dioksinlər/furanlar (PCDD/PCDF): İşlənmiş qazlarda poliklorlu dibenzo-p-dioksin və dibenzofuran konsentrasiyası beynəlxalq toksiklik ekvivalenti faktorlarına (I-TEQ) uyğun olaraq ifadə edilmişdir

PCDD/F	TEQ* (A) (ng)	TEQ (A)(ng)
2378-TCDF	0.00754	0.00657
12378-PeCDF	0.0026065	0.0021345
23478-PeCDF	0.0004917	0.0004015
123478-HxCDF	0.004765	0.003987

123678-HxCDF	N.D	N.D
123789-HxCDF	N.D	N.D
234678-HxCDF	N.D	N.D
1234678-HpCDF	N.D	N.D
1234789-HpCDF	N.D	N.D
OCDF	N.D	N.D
2378-TCDD	N.D	N.D

12378-PeCDD	N.D	N.D
123478-HxCDD	0.0011376	0.0011051
123678-HxCDD	N.D	N.D
123789-HxCDD	N.D	N.D
1234678-HpCDD	N.D	N.D
OCDD	N.D	N.D
2378-PCDD/F (ng 2378-TCDD/ sample (quantitatively calculated) I-TEQ 'Lower Limit	N.D	N.D

Mexaniki və kimyəvi testlər: Yandırma prosesi nəticəsində əldə olunan clinker nümunələri üçün sıxlıq, möhkəmlik, kimyəvi tərkib (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 və s.) və mikrostruktur (SEM analizi) testləri həyata keçirilmişdir.

Cədvəl 3

Neft şlamının sement zavodlarında yandırılması üçün tərkibinə olan kriteriyalar

Parametr	Vahidi	Qiyməti
Radioaktivlik	pCi/q	1.1-3.2
Ağır metallar-Civə	mq/kq	3-7
Partlayıcı birləşmələrin yaranma mümkünlüyünü təyin etmək üçün IQ tədqiqatları	Partlayıcı qarışığın yaranma ehtimalı	N/A
Yanma istiliyi	QC/kq	0.007-0.01
Kalorimetrik bombada yandırıldıqdan sonra qalan qalıq	%	40-60
Küllük	%	70-85
Suyun miqdarı	%	40-60
Kükürdün miqdarı	%	0.4-2.7
Küldə kükürdün miqdarı	%	0.4-3
Xlorun miqdarı	%	0.01-4.5
Ağır metallar –Tallium kadmium	mq/kq	0.2-0.85
Ağır metallar -As, Ba, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn	mq/kq	10000- 50000

Pilot miqyaslı eksperimentlər zamanı əldə olunan məlumatlara əsasən:

Optimal Temperatur: Yandırma prosesi üçün 1300–1450 °C aralığı optimal hesab edilmişdir. Bu aralıqda, şlamin tərkibindəki orqanik maddələr tam oksidləşir və yan məhsul kimi toksik birləşmələrin əmələ gəlməsi minimuma endirilir.

Hava və Yanacaq Nisbəti: Hava təchizatı və yanacaq qarışığı düzgün tənzimlənmişdir. Statistik analiz göstərir ki, optimal hava-yanacaq nisbəti prosesin enerji səmərəliliyini 92%-ə yüksəldir.

Yanma Davamiyyəti: Qeyd olunan şərtlərdə, yanma reaksiya müddəti minimum 3-5 saniyə olmalıdır. Bu müddət ərzində, həm PAH-ların, həm də ağır metalların böyük əksəriyyəti oksidləşərək clinkerə sabitlənir.

PAH-lar: Qaz xromatoqrafiyası nəticələri göstərir ki, proses zamanı yaranan PAH konsentrasiyaları LMW (aşağı molekulyar çəkili) PAH-ların üstünlüyü ilə xarakterizə olunur. Üzvi maddələrin tam oksidləşməsi nəticəsində, MMW və HMW PAH-ların yaranma səviyyəsi çox aşağı qalır. ANOVA analizi ilə müqayisədə, 1300 °C və 1450 °C arasında əldə olunan PAH konsentrasiyaları arasında statistik olaraq əhəmiyyətli fərq ($p < 0.05$) müşahidə edilmişdir.

Ağır metalların sabitləşdirilməsi: ICP-MS nəticələrinə görə, proses zamanı ağır metalların (Pb, Cd, Cr, Ni və s.) 85%-dən çoxu clinkerə inteqrasiya olunur və emisyonlarda aşkarlanması minimuma endirilir. t-test nəticələri, prosesin müxtəlif şərtlərdə ağır metal emisyonlarının müqayisəsində əhəmiyyətli dəyişiklik olmadığını göstərir ($p > 0.1$).

Enerji geri qazanımı: Neft şlaminin əlavə edilməsi sement zavodunun istilik enerjisi tələbatını azaldaraq yanacaq xərclərində orta hesabla 8-10% qənaət təmin edir. Regresyon analizi göstərir ki, şlamin əlavə olunması ilə prosesin istilik səmərəliliyi arasında müsbət korrelyasiya mövcuddur ($r = 0.87$).

Mexaniki xüsusiyyətlər: Ehtiyatda aparılan sıxlıq, təzyiq altında dayanıqlılıq və digər mexaniki testlər göstərdi ki, neft şlaminin əlavə edilməsi nəticəsində əldə olunan clinker, standartlara cavab verir. Mikrostruktur analizlər (SEM) isə, ağır metalların homojen paylanması və mikroporozluğun minimum olması ilə xarakterizə edilmişdir.

Kimyəvi tərkib: Xətt analizləri nəticəsində, CaO, SiO₂, Al₂O₃ və Fe₂O₃ kimi əsas komponentlərdə dəyişiklik müşahidə olunmayıb. Statistiki müqayisələr göstərir ki, şlam əlavə edildikdə clinker tərkibindəki dəyişikliklər normativ sərhədlər daxilindədir ($p > 0.1$).

Emissiyaların monitorinqi: CEMS vasitəsilə davamlı monitorinq nəticələri, proses zamanı yaranan qaz emisyonlarının (NO_x, SO₂, CO və HCl) beynəlxalq standartlara uyğun olduğunu göstərir. Hər ay aparılan stokastik analizlər, emisyon səviyyələrinin sabitliyini və normativlərə riayət olunmasını təsdiqləmişdir.

Ətraf mühitə təsir: Toplanmış hava, su və torpaq nümunələri üzrə aparılan analitik testlər (qaz xromatoqrafiyası və ICP-MS) nəticəsində, prosesin ətraf mühitə uzunmüddətli təsirinin minimal olduğu, həmçinin heavy metal və PAH yüklərinin yerli ərazilərdə artımının statistik olaraq əhəmiyyətli olmadığı müəyyən edilmişdir.

NƏTİCƏ

Araşdırmanın nəticələrinə əsasən:

- Neft şlaminin sement zavodunda yandırılması üçün optimal şərtlər 1300–1450 °C temperatura müvafiqdir
- Yandırma prosesi zamanı yaranan emissiyalar (PAH-lar, ağır metallar və digər toksik maddələr) əksəriyyəti effektiv şəkildə clinkerə sabitlənmişdir
- Prosesin alternativ enerji mənbəyi və geri qazanımı baxımından səmərəliliyə malikdir
- Geniş statistik analizlər və davamlı ətraf mühit monitorinqi göstərir ki, proses ətraf mühitə mənfi təsirləri minimuma endirir və beynəlxalq ekoloji standartlara cavab verir.

• Nəticələr, neft şlamının sement zavodlarında zərərsizləşdirilməsinin potensialını və bu texnologiyanın gələcəkdə tullantıların emalı, enerji geri qazanımı və ekoloji təhlükəsizliyin təminatı istiqamətində tətbiq oluna biləcəyini göstərir.

Bu təhlil, neft sənayesindən yaranan şlamın ekoloji və iqtisadi problemlərinin həllində sement zavodlarında yandırılaraq zərərsizləşdirilməsinin alternativ və perspektivli bir metod olduğunu sübut edir.

Ədəbiyyat

1. Rovira, J., Mari, M., Nadal, M., Schuhmacher, M., & Domingo, J. L. (2011). *Use of sewage sludge as secondary fuel in a cement plant: Human health risks*. *Environmental International*, 37(1), 105–111.
2. Schuhmacher, M., Nadal, M., & Domingo, J. L. (2009). *Environmental monitoring of PCDD/Fs and metals in the vicinity of a cement plant after using sewage sludge as a secondary fuel*. *Chemosphere*, 74(11), 1502–1508.
3. Karstensen, K. H. (2008). *Formation, release and control of dioxins in cement kilns – A review*. *Chemosphere*, 70, 543–560.
4. Hasanbeigi, A., Lu, H., Williams, C., & Price, L. (2012). *International Best Practices for Pre-Processing and Co-Processing Municipal Solid Waste and Sewage Sludge in the Cement Industry*.
5. Mishra, S., Jyot, J., Kuhad, R. C., & Lal, B. (2001). *In Situ Bioremediation Potential of an Oily Sludge-Degrading Bacterial Consortium*. *Current Microbiology*, 43, 328–335. doi:10.1007/s002840010311

RESEARCH OF THE PROCESS OF OIL SLUDGE INCINERATION FOR DISPOSAL IN A CEMENT PLANT

Abdullayev Namig Isfandiyyar, Abdullayeva Kamala Sadraddin, Osmanov Vugar Nazim
Summary

The process of oil sludge incineration for disposal in a cement plant has been studied through laboratory and pilot-scale experiments, extensive statistical analyses, and process engineering approaches. The objective is to achieve the complete oxidation of organic and inorganic compounds in the sludge under high-temperature and oxidative conditions, monitor the chemical composition and levels of resulting emissions, and assess the energy recovery and impact on clinker quality. The obtained results indicate that under optimal incineration conditions (1300–1450 °C), oil sludge is entirely neutralized, heavy metals are stabilized within the clinker, and the process meets both energy efficiency and environmental compliance requirements.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ НЕФТЯНОГО ШЛАМА ПУТЕМ СЖИГАНИЯ НА ЦЕМЕНТНОМ ЗАВОДЕ

Абдуллаев Намиг Исфандияр оглы, Абдуллаева Камалья Садрадин кызы, Османов Вугар Назим оглы
Резюме

Процесс обезвреживания нефтяного шлама путем сжигания на цементном заводе был изучен с применением лабораторных и пилотных экспериментов, обширного статистического анализа и методов инженерии процессов. Целью исследования является полное окисление органических и неорганических соединений, содержащихся в шламе, при высоких температурах и в условиях окислительной среды, мониторинг химического состава и уровня выбросов, а также оценка эффективности энергорекуперации и влияния процесса на качество клинкера. Полученные результаты показывают, что при оптимальных условиях сжигания (1300–1450 °C) нефтяной шлам полностью обезвреживается, тяжелые металлы фиксируются в клинкере, а процесс соответствует требованиям энергоэффективности и экологической безопасности.

Rəyçi k.e.n., dos.İbadova S.Y.

Məqalə 10.03.2025 tarixli 11 saylı protokolundan keçmişdir.

Daxil olma tarixi 11mart 2025-ci il