

---

## МҰНАЙ ГАЗ ИНЖЕНЕРИЯСЫ ЖӘНЕ ГЕОЛОГИЯ OIL AND GAS ENGINEERING, GEOLOGY НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ГЕОЛОГИЯ

---

ӘОЖ 621.6  
ҒТАХР 55.69

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2025-22-3-324-339>

<sup>1,2\*</sup>**Иманбаева Н.С.,**

т.ғ.к., ORCID ID: 0000-0001-6889-3421,

\*e-mail: imanbaevan@mail.ru

<sup>2</sup>**Тыныштиков А.А.,**

магистрант, ORCID ID: 0009-0008-5341-043X,

e-mail: aidost307@gmail.com

<sup>2</sup>**Мусаев М.М.,**

магистрант, ORCID ID: 0009-0002-6917-4618,

e-mail: mussayevmery@gmail.com

<sup>3</sup>**Таттимбетова С.Ж.,**

мұғалім, ORCID ID: 0009-0005-2580-7569,

e-mail: saltanattattimbetova1975@gmail.com

<sup>4</sup>**Алғожаева Р.С.,**

аға оқытушы, ORCID ID: 0000-0003-1575-5425,

e-mail: raihan\_algozhaeva@mail.ru

<sup>1</sup>Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институты,  
Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Сәтбаев университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>3</sup>196 жалпы білім беретін мектеп, Алматы қ., Қазақстан

<sup>4</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті КЕАҚ,  
Алматы қ., Қазақстан

### ШТАНГАЛЫҚ СОРҒЫ ҚОНДЫРҒЫ ЖЕТЕГІНІҢ ВАТТМЕТРОГРАММАСЫН ЕСЕПТЕУДІ ТЕҢГЕРУ РЕЖИМДЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ ТИІМДІЛІГІ

#### Андатпа

Мұнай өндіру саласында тиімділікті жоғарылату мәселесі бүгінгі таңда ерекше маңызға ие. Мақала штангалық сорғы қондырғылары (ШСҚ) арқылы мұнай өндіру барысында энергия тиімділігін арттыру және жұмыс режимдерін оңтайландыру мәселелеріне арналған. Зерттеуде ұңғымадағы мұнай деңгейінің төмендеуін есепке алуға ерекше назар аударылған, себебі бұл фактор гидростатикалық қысым мен сорғыдағы жүктемеге тікелей әсер етеді. ШСҚ жетегінің түрлендіруші механизмінің кинематикалық және кинетостатикалық талдаулары жүргізіліп, олардың нәтижелері негізінде ваттметрограмма есептелді. Бұл

ваттметрограмма энергия тұтынуын бақылауға ғана емес, сонымен қатар қондырғының жалпы тиімділігін арттыру мақсатында тепе-теңдік механизмдері мен жетек жүйелерін дәл реттеуге және олардың әлсіз тұстарын анықтауға мүмкіндік береді. Мұнай деңгейінің төмендеуі жалпы жүктемені азайтып, ваттметрограмма амплитудасының кемуіне алып келеді. Ал динамограмма қуат профиліне жүктемедегі динамикалық тербелістерді қосып, жүйенің жұмысын күрделендіреді. Бұл екі факторды бірлесіп ескеру есептеулерді шынайы етіп, қарсы салмақты дұрыс таңдау, қозғалтқыш қуатын дәл реттеу және ШСҚ жұмысын оңтайландыруда маңызды рөл атқарады. Мақалада ұсынылған нәтижелер нақты II-класты, төрт звенолық, түзу сызықты бағыттаушы түрлендіруші механизммен жабдықталған теңгерімсіз жетекті ШСҚ-да орнатылған электромотор мен редуктор сипаттамаларын ескере отырып алынған.

**Тірек сөздер:** штангалық сорғы қондырғысы (ШСҚ), түрлендіруші механизм, кинематика, кинестатика, айналдырушы момент, қуат, ваттметрограмма.

## Кіріспе

Штангалық сорғы қондырғысы жетегінің ваттметрограммасын есептеу – оның жұмысын оңтайландыру мен энергия тиімділігін арттырудың маңызды міндеттерінің бірі. Ваттметрограмма – уақыт, жиілік немесе басқа факторларға байланысты штангалық сорғы жетегінің қуат тұтынуын сипаттайтын график. Бұл диаграмма сорғы жұмысы барысында қуат өзгерістерін талдауға, сондай-ақ жүйенің әлсіз тұстарын анықтауға мүмкіндік береді. Мысалы, энергияны шамадан тыс тұтыну немесе тиімсіз жұмыс режимдері сияқты жағдайлар айқын көрінеді. Штангалық сорғы қондырғысы ұнғымалардан сұйықтықты көтеру үшін қолданылады. Оның құрамына электр қозғалтқыш, штангалық механизм, сондай-ақ теңгеру жүйесі (мысалы, қарсы салмақ немесе дірілді азайтатын құрылғылар) кіреді. Қондырғының тиімді жұмысы істеуі айналу жиілігіне, қарсыласу күші және штангалардың қозғалыс динамикасы сияқты дұрыс жұмыс режимдеріне байланысты. Сорғының оңтайлы жұмыс режиміне жету үшін тепе-теңдік жүйесін дұрыс орнату маңызды. Бұл дірілді азайту, тозуды азайту және жүйенің жалпы тиімділігін жақсарту үшін қажет. Штангалық сорғы қондырғысының жұмысын оңтайландыру үшін келесі тәсілдер қолданылады: жиілікті басқару – айналу жиілігін өзгерту арқылы ең жоғары жүктемелерді азайту және сорғы жұмысының үйлесімділігін қамтамасыз ету; динамикалық тепе-теңдікті реттеу – тербелістер мен жүктемелерді, сондай-ақ ваттметрограмма амплитудасын азайту мақсатында қарсы салмақтардың немесе тепе-теңдік жүйесінің массасы мен орналасуын оңтайландыру. Ваттметрограмманы есептеу арқылы келесі көрсеткіштерді анықтауға болады:

- ♦ қуат тұтынудың ең жоғары сәттері, бұл шамадан тыс діріл немесе артық жүктеменің пайда болуына әкелуі мүмкін;
- ♦ қуаттың артуы, ол механикалық ақаулардың немесе дұрыс реттелмеген тепе-теңдік жүйесінің бар екенін көрсетуі мүмкін;
- ♦ әртүрлі жұмыс режимдері үшін пайдалы әсер коэффициентін (ПӘК) бағалау, яғни жүйенің тиімділігін анықтау.

Деректерді жинау үшін қуат пен жиілік датчиктері орнатылып, әртүрлі жұмыс кезеңдерінде жетек қуатын тұтыну туралы мәліметтер жиналады. Ваттметрограмманы талдау үшін деректерді талдаудың әртүрлі әдістері қолданылады, мысалы, гармониканы анықтау үшін талдау, қуаттың жоғалуы немесе шамадан тыс тербелістердің пайда болуын дәл анықтау.

Осы мәліметтер негізінде жұмыс режимдерін реттеуге болады, яғни жиілікті реттеуді реттеуге, сорғы жабдықтарының жұмыс параметрлерін өзгертуге, сондай-ақ тиімді жұмыс істеу үшін тепе-теңдік жүйесіне түзетулер енгізуге болады.

Штангалық сорғының жұмысын оңтайландыру үшін ваттметрограмманы есептеу маңызды құралдардың бірі. Оның көмегімен энергияны тұтынуды бақылап қана қоймай, жалпы орнату тиімділігін арттыру үшін тепе-теңдік механизмдері мен жетек жүйелерін дәл реттеуге болады.

Штангалық сорғы қондырғылары (ШСҚ) арқылы мұнай өндіру барысында энергия тиімділігін арттыру және жұмыс режимдерін оңтайландыру – саладағы өзекті мәселелердің бірі.

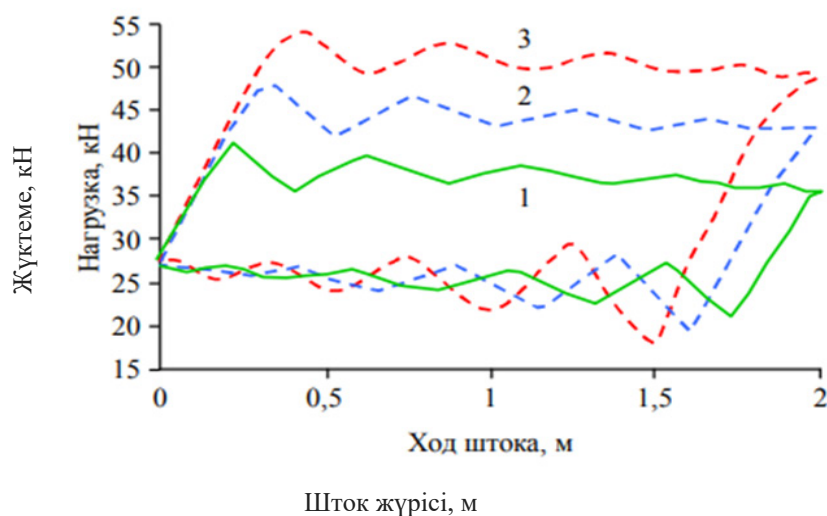
Қондырғының жұмыс қабілеттілігін арттыру жоспарлы жөндеу мен нақты техникалық қызмет көрсетуге жұмсалатын материалдық шығындарды азайтады.

Штангалық сорғы қондырғыларының күйі ваттметрограмма параметрлері және зерттелетін объектінің амплитудалық спектрі бойынша талданады.

Қарастырылған [1] жұмыста қолданылған қозғалтқыш үшін есептік статикалық сипаттамалары ұсынылған, қуат коэффициенті және реактивті қуатты толық өтеу үшін қажетті конденсатор сыйымдылығының сырғанауға байланысты өзгеруі.

Желі тогының уақыт бойынша өзгерісінің салыстырмасы, яғни сыйымдылығы алгоритм арқылы реттелетін параллель қосылған конденсаторлармен немесе конденсаторсыз жұмыс істеу режимдері ұсынылған.

Мақалада [2] теңгеруші қарсы жүк, жүкті балансир бойымен жылжытатын электрқозғалтқыш, бұранда және есептеу блогынан тұратын штангалы қондырғы жетегінің автоматты теңгеру жүйесі жасалған. Ұсынылған құрылғының тиімділігін зерттеу үшін пласт – ұңғыма – штангалы насос – штангалар тізбегі – станок-качалка жүйесінің бірлескен жұмысының кешенді математикалық моделі әзірленді. Балансирлік қарсы жүктің орнын динамикалық түзету арқылы автоматты теңгеру жүйесі иіптірек білігіндегі айналдыру моментінің амплитудалық мәнін (дәстүрлі штангалы қондырғымен салыстырғанда) айтарлықтай төмендетуге және электрқозғалтқыш жүктемесін бірқалыпты етуге мүмкіндік беретіні көрсетілген. Айналдыру моменті мен электрқозғалтқыш жүктемесінің теңгерілуі қондырғының тұтынатын қуатын азайтады.



Сурет 1 – Балансир басындағы динамикалық жүктемелер:  
1 – динамикалық деңгейдің жоғарғы шекарасына сәйкес келеді;  
2 – ортаңғы күйі; 3 – төменгі шекарасына сәйкес келеді.

1-суретте ұңғыдағы ағымдағы динамикалық деңгейді түрлі шамаларда өзгерткен кезде балансир басына түсетін динамикалық жүктемелер көрсетілген. Динамикалық деңгей артқан сайын насостың сору жағындағы қысым төмендейді, сонымен қатар дифференциалдық қысым (насосың шығу және сору қысымдарының айырмасы) өседі. Бұл насос плунжеріне түсетін сұйықтық жүктемесінің артуына алып келеді. Нәтижесінде штангалардың жоғары қозғалыс жарты циклінде жүктеме айтарлықтай артады (динамикалық деңгей шекті мәндерге жеткен кезде шамамен 40%-ға дейін). Сонымен қатар, динамикалық деңгейдің артуы жүктеменің

динамикалық құрауышының ұлғаюына әкеліп, балансир басындағы жүктеменің максимал мәнінің өсуіне және минимал мәнінің төмендеуіне себеп болады.

Келесі мақалада [3] қозғалтқыштың алты жұмыс күйін бейнелейтін 72 есептік қуат диаграммасы талданған. Атап айтқанда: қалыпты жұмыс жағдайы; сорғыш клапанның ағып кетуі; газдың әсері; сұйықтықтың жеткіліксіз берілуі; плунжердің төменгі және жоғарғы шектік орналасуы. Клапандардың ауысу сәтіндегі қуатты бағалау негізінде құрылған ерекшелік векторы әрбір жұмыс күйін бірегей түрде сипаттай алатыны анықталған.

Мақалада [4] баланsirлік станок-качалкалардың тозу күйі зерттелген. Жұмыстан шыққан және жаңадан іске қосылып жатқан ұңғымаларды пайдалану үшін ірі іргетастардан бас тартуға және қызмет көрсетуге кететін еңбек шығынын азайтуға мүмкіндік беретін арзан штангалық сорғы жетектері қажет. Мұндай жетектер – инерциялық теңгеру жүйесімен жұмыс істейтін гидравликалық жетектер. Жол және құрылыс техникасында, сондай-ақ станок гидравликасында қолданылатын көлемдік гидравликалық жетектердің элементтік базасы, осы жетекте қолданылатын құрал-жабдықтар, әрі өнеркәсіп жұмысшыларының жалпы біліктілік деңгейі – жаңа типтегі гидравликалық жетектерді инженерлік және технологиялық тұрғыдан жоғары деңгейде жасауға мүмкіндік береді. Бұл [5] мақалада ұңғымалық штангалық сорғылар қондырғылары бар мұнай өндіру ұңғымалары қарастырылған. Ұңғымалық штангалық сорғылар қондырғыларының жетегі ретінде жоғары іске қосу моменті бар төмен жылдамдықты асинхронды электрқозғалтқыштар қолданылады. Қарсы салмақтарды реттеу арқылы ұңғымалық штангалық сорғылар қондырғыларын теңгеру жүктемені біркелкі етуге, жетектердің жұмыс режимін жақсартуға және электр энергиясын тұтынуды азайтуға мүмкіндік беретіні зерттелген.

Келесі [6] мақалада штангалық насос жетектерін дамытудың негізгі бағыттары атап көрсетілген. Атап айтқанда, олардың сенімділігін арттыру, монтаж бен техникалық қызмет көрсетуді жеңілдету, металл сыйымдылығын және меншікті энергия шығынын азайту мәселелері қарастырылған.

Қарастырылған [7] мақалада жобаланған сынақтық стендтердің конструкциялары сипатталған. Бұл стендтер ұңғымалық штангалық насостарды кешенді түрде стендтік сынақтан өткізуге мүмкіндік береді.

Мақаладағы зерттеу жұмысы [8] штангалық насосстармен жұмыс істеу кезіндегі пайдалану шығындарының ең маңызды бөлігі – жүйенің электр энергиясын тұтынуына тікелей байланысты екенін көрсетеді.

Келесі [9] мақалада балкасыз жаңа құрылымдық сұлбадағы насос қондырғысында ұңғыма жұмысы кезінде штанга аспа нүктесіне әсер ететін динамикалық күштерді анықтау мәселесі қарастырылған. Бұл күштер иіндіктің айналу бұрышына, иіндіктің ұзындығының штанга ұзындығына қатынасына, сондай-ақ салыстырмалы эксцентриситетті сипаттайтын өлшемсіз кинематикалық параметрлерге тәуелді. Зерттеу нәтижесінде штангалар колоннасындағы динамикалық жүктемелердің шамасы насос жетегінің түріне және иіндіктің айналу бағытына байланысты болатыны анықталған.

Келесі жұмыста [10] штангалық насос қондырғыларының (ШСҚ) модельдеу және басқару әдістері қарастырылады. Атап айтқанда, ШСҚ-ны модельдеу үшін бойлық тербелістерге негізделген бірөлшемді толқын теңдеуі арқылы құрылған математикалық модельдер ұсынылған. Бұл модельдер үш санатқа бөлініп талданады: модельге негізделген энергия шығыны мен энергия тиімділігін бағалау, толқын теңдеуіне негізделген жетілдірілген математикалық модель, сондай-ақ толқын теңдеуі негізінде ұсынылатын жаңа шешу әдістері.

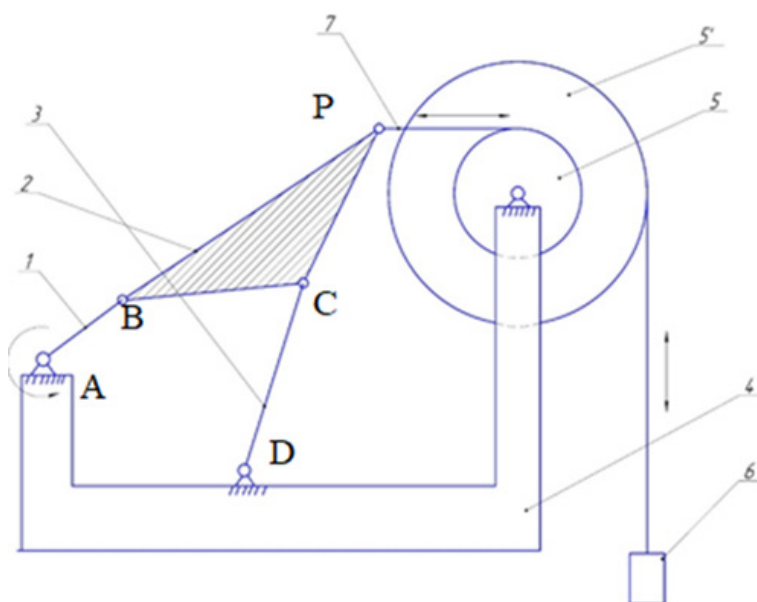
Штангалық сорғы қондырғыларының энергия тиімділігін арттыру және жұмыс режимдерін оңтайландыру мәселелері бойынша жүргізілген ғылыми мақалаларға жасалған талдауға сүйене отырып, пайдалану шығындарын азайту ұңғымада да, жер үстінде де энергия тұтынуын төмендету арқылы жүзеге асырылатыны анықталды. Сонымен қатар, қозғалтқышқа түсетін жүктеменің біркелкі еместігі қозғалтқыш пен редуктор жұмысының тұрақсыздығына, соны-

мен қатар олардың тиімділігінің күрт төмендеуіне әкеледі. Бір жұмыс циклі ішінде редуктор мен қозғалтқышқа түсетін жүктемені теңгеру, сондай-ақ теңгеру процесін тиімді жүзеге асыру үшін қажетті қозғалтқыш қуатын азайту мақсатында ваттметрограмма деректерін пайдалану қажет. Бұдан бөлек, қарсы салмақтар қолданылмаған теңгерілмеген, сондай-ақ қозғалмалы және айналмалы қарсы салмақтармен теңгерілген мұнай насос қондырғыларындағы динамикалық күштерді анықтап, салыстырмалы талдау жүргізу қажеттігі туралы қорытындыға келеміз.

### Материалдар мен әдістер

Штангалы насос құрылғысының төрт звенолы жетекші механизмінің кинематикалық және кинетостатикалық талдаулары жасаймыз.

Конструкцияның өлшемдік қатарын келесі түрде аламыз:  $AB = 0.28228$  мм,  $BC = 0.62528$  мм,  $CD = 0.59513$  мм,  $XD_{new} = -0.62913$  мм,  $YD_{new} = 0.31091$  мм,  $CP = 0.570516$  мм,  $BP = 1.059791$  мм.

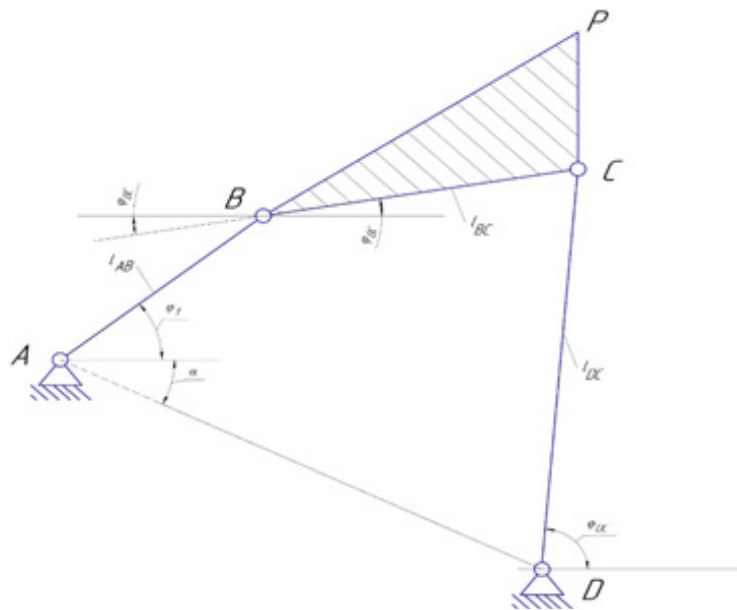


Сурет 2 – Төменгі күйдегі штангалы сорғы құрылғыларының жетекті механизмінің кинематикалық схемасы

Мұндағы ШСҚ жетегі механизмінде 1 – айналшақ (2-сурет) және 2 – бұлғақ бір жағынан кинематикалық жұп арқылы қосылған, ал екінші жағы үшбұрышты контур арқылы 3 – күйентеге жалғанған. Күйенте мен айналшақ айналмалы жұп арқылы тіреуішке бекітіледі. Ал бұлғақтың Р нүктесі түзу сызықты қозғалыс жасайды.

ШСҚ жетегі механизмі келесі тәртіппен жұмыс істейді. Айналдыру моменті редуктордан (схемада көрсетілмеген) айналшақтың осіне беріледі. 1 – айналшақтың айналуы 2 – бұлғақ арқылы икемді қосылыс 7-ге беріледі. Бұл қосылысқа штангалы колонна 6 орнатылған, ол 5 және 5' барабандары арқылы бекітіледі. Р нүктесі – икемді байланыс 7-нің ілінісу нүктесі болып табылады және ол қайтымды түзу сызықты қозғалыс орындайды.

Штангалы насос құрылғысының төрт звенолық жетекші механизмінің кинематикалық талдауын жүргізу үшін тұйықталған векторлық контурлар әдісі қолданылады.



Сурет 3 – ШСҚ жетекінің төрт буынды механизмі

ABCD векторлық контурын қарастырайық.

$$\overline{l_{AD}} + \overline{l_{DC}} + \overline{l_{BC}} = \overline{l_{AB}} \quad (1)$$

(1) Векторлық контур теңдеуін Ох және Оу координаталық осьтеріне проекцияласақ, келесі теңдеулерді аламыз:

$$(2) \quad \begin{cases} l_{AB} \cdot \cos \alpha + l_{DC} \cos \varphi_{DC} - l_{BC} \cos \varphi_{BC} = l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 \\ -l_{AB} \cdot \sin \alpha + l_{DC} \sin \varphi_{DC} - l_{BC} \sin \varphi_{BC} = l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 \end{cases}, \quad (2)$$

мұндағы  $\alpha, \varphi_{BC}, \varphi_{DC}, \varphi_1$  және 4-буындардың осьтері мен Ох осі арасындағы бұрыштар.

Белгілеулер енгізейік:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi_{DC}}{\partial \varphi_1} &= U_{DC_1} \\ \frac{\partial \varphi_{BC}}{\partial \varphi_1} &= U_{BC_1} \end{aligned} \quad (3)$$

$U_{BC}$  және  $U_{DC}$  шамалары 2-ші және 3-ші буындардың бұрыштық жылдамдықтарының аналогы. Сондай-ақ олар беріліс қатынасы деп аталады, себебі олар 2-ші және 3-ші буындардың бұрыштық жылдамдықтарының кіріс буынның бұрыштық жылдамдығына қатынасына тең. Осыған сәйкес (1) теңдеуі келесі түрде болады:

$$\begin{cases} -U_{DC} \cdot l_{DC} \sin \varphi_{DC} + U_{BC_1} \cdot l_{BC} \sin \varphi_{BC} = -l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 \\ U_{DC} \cdot l_{DC} \cos \varphi_{DC} - U_{BC_1} \cdot l_{BC} \cos \varphi_{BC} = -l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 \end{cases} \quad (4)$$

(4) бірінші теңдеуге кіретін бұрыштардан ортақ  $\varphi_{DC}$  бұрышын шегереміз, бұл хАу координаталық осьтерін ортақ  $\varphi_{DC}$  бұрышына бұруға сәйкес келеді. Нәтижесінде:

$$U_{BC_1} \cdot l_{BC} \cos(\varphi_{BC} - \varphi_{DC}) = -l_{AB} \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_{DC}) \quad (5)$$

Мұнан бұрыштық жылдамдықтың аналогы  $\omega_{BC}$  үшін  $U_{BC}$  өрнегі алынады

$$U_{BC_1} = \frac{-l_{AB} \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_{DC})}{l_{BC} \cos(\varphi_{BC} - \varphi_{DC})} \quad (6)$$

Осыған ұқсас түрде, координат осьтерін  $\varphi_{BC}$  бұрышына бұру арқылы сол теңдеуді түрлендіріп,  $\omega_{DC}$  бұрыштық жылдамдығының аналогы  $U_{DC}$  үшін өрнек аламыз.

$$U_{DC_1} \cdot l_{DC} \cos(\varphi_{DC} - \varphi_{BC}) = -l_{AB} \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_{BC}) \quad (7)$$

Осыдан

$$U_{DC_1} = \frac{l_{AB} \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_{BC})}{l_{DC} \cos(\varphi_{DC} - \varphi_{BC})} \quad (8)$$

Осы кезде бұрыштық жылдамдықтардың аналогтары арқылы

$$\omega_{BC} = \omega_1 \cdot U_{BC_1}; \omega_{DC} = \omega_1 \cdot U_{DC_1} \quad (9)$$

Осылайша, шарнирлардың абсолютті сызықтық жылдамдықтары келесі формулалармен анықталады:

$$\vec{V}_B = \omega_1 \cdot \vec{l}_{AB} \quad (10)$$

Координаталық осьтерге проекцияланған түрде:

$$\begin{cases} V_B^x = \omega_1 \cdot l_{AB} \cdot \cos \varphi_1 \\ V_B^y = \omega_1 \cdot l_{AB} \cdot \sin \varphi_1 \end{cases} \quad (11)$$

Осы кезде В нүктесінің абсолютті жылдамдығының шамасы анықталады:

$$V_B = \sqrt{(V_B^x)^2 + (V_B^y)^2} \quad (12)$$

Сонымен қатар, ұқсас түрде С нүктесі және шатундық нүкте Р үшін абсолютті жылдамдықтардың шамалары анықталады:

$$\begin{cases} V_{s_3}^x = \omega_3 \cdot X_{s_3} \\ V_{s_3}^y = \omega_3 \cdot Y_{s_3} \end{cases} \quad (13)$$

$$V_C = \sqrt{(V_C^x)^2 + (V_C^y)^2} \quad (14)$$

$$\begin{cases} V_P^x = \omega_2 \cdot X_P \\ V_P^y = \omega_2 \cdot Y_P \end{cases} \quad (15)$$

$$V_P = \sqrt{(V_P^x)^2 + (V_P^y)^2} \quad (16)$$

Келесіде буындардың масса орталықтарының жылдамдықтарының проекцияларын координаталық осьтерге анықтап, олардың абсолютті жылдамдықтарын есептейміз:

$$\begin{cases} V_{s_2}^x = V_B^x + \omega_2 \cdot X_{s_2} \\ V_{s_2}^y = V_B^y + \omega_2 \cdot Y_{s_2} \end{cases} \quad (17)$$

Кіріс буынның масса орталығының абсолютті жылдамдығының мәні

$$V_{s_1} = \sqrt{(V_{s_1}^x)^2 + (V_{s_1}^y)^2} \quad (18)$$

$$\begin{cases} V_{s_2}^x = V_B^x + \omega_2 \cdot X_{s_2} \\ V_{s_2}^y = V_B^y + \omega_2 \cdot Y_{s_2} \end{cases} \quad (19)$$

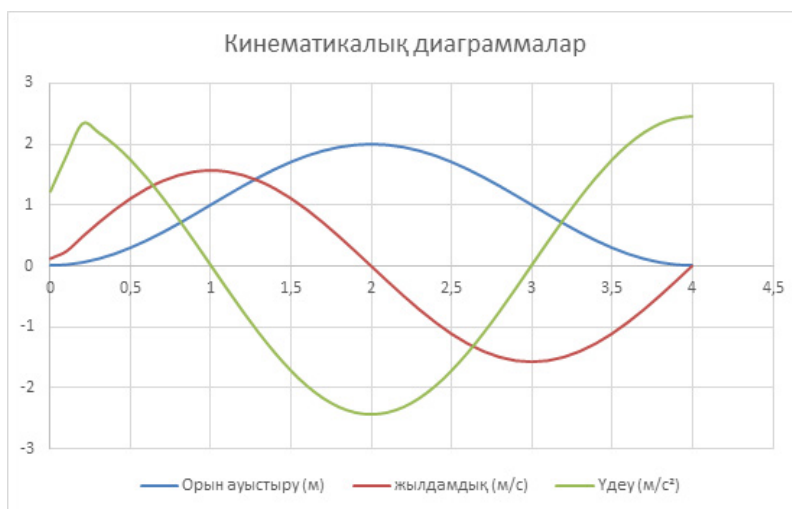
Шатунның масса орталығының абсолютті жылдамдығының мәні

$$V_{s_2} = \sqrt{(V_{s_2}^x)^2 + (V_{s_2}^y)^2} \quad (20)$$

$$\begin{cases} V_{s_3}^x = \omega_3 \cdot X_{s_3} \\ V_{s_3}^y = \omega_3 \cdot Y_{s_3} \end{cases} \quad (21)$$

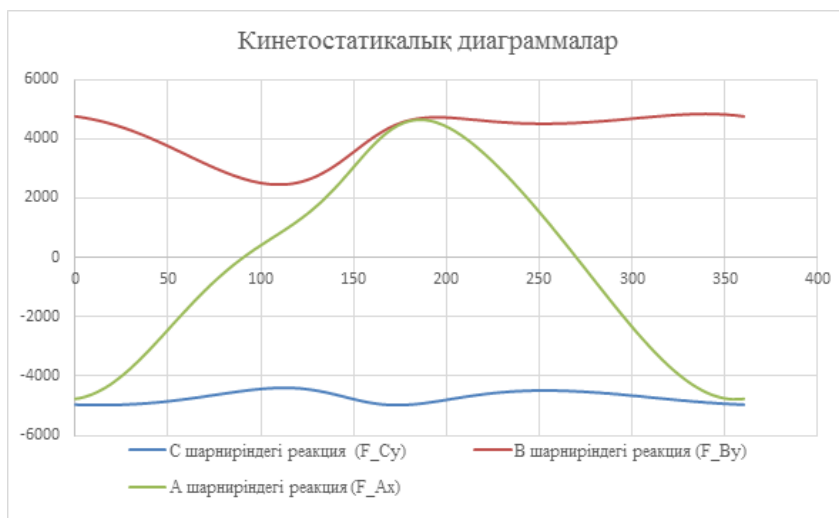
Күйентенің масса орталығының абсолютті жылдамдығының мәні

$$V_{s_3} = \sqrt{(V_{s_3}^x)^2 + (V_{s_3}^y)^2} \quad (22)$$

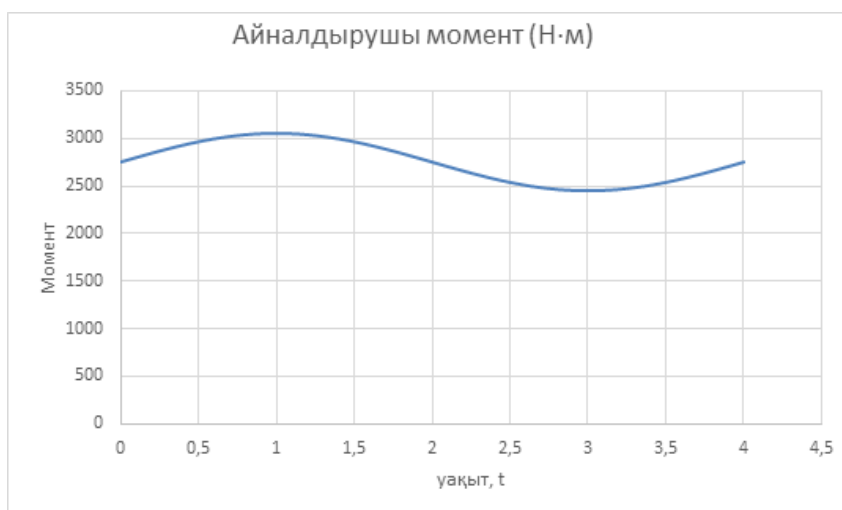


Сурет 4 – Р нүктесінің кинематикасы

Сондай-ақ кинестостатикалық теңдеулерді шешу нәтижесінде механизм шарнирлеріндегі реакцияларды анықтаймыз.



Сурет 5 – Механизм шарнирлеріндегі реакция күштері



Сурет 6 – Айналдырушы момент

### Нәтижелер мен талқылау

Штангалық сорғы қондырғы жетегінің ваттметрограммасын есептеу.

Бұл бөлімде тербелмелі қондырғыға арналған ваттметрограмма есебі қарастырылып, мұнай салмағы мен динамограмма әсері ескерілген. Ұңғымадағы мұнай деңгейінің төмендеуін есепке алуға ерекше назар аударылған, себебі бұл фактор гидростатикалық қысымға және сорғыға түсетін жүктемеге тікелей әсер етеді.

Сорғыға гидростатикалық қысым сұйықтық бағанының биіктігіне тікелей байланысты:

$$P_{\text{гидр}} = \rho gh, \quad (23)$$

мұндағы,  $h$  – сұйықтық деңгейі,  $\rho$  – сұйықтық тығыздығы.

Тығыздығы неғұрлым жоғары болса, сұйықтықты берілген тереңдікке көтеру кезінде плунжерге түсетін жүктеме соғұрлым жоғары болады.

Сондай-ақ сұйықтың тұтқырлығы ( $\mu = 0,01$  Па с) плунжер айналасындағы және сорғыдағы сұйықтың қозғалысына тұтқыр кедергіге әсер етеді. Тұтқыр кедергі мынадай формула бойынша есептеледі:

$$F_m = 6\pi\mu r v, \quad (24)$$

мұндағы  $r$  – сорғы/штанг радиусы,  $v$  – плунжер қозғалысының жылдамдығы.

Тұтқырлық неғұрлым жоғары болса, қарсыласу соғұрлым жоғары болады және жетекке динамикалық жүктеме соғұрлым жоғары болады. Тығыздық және тұтқырлық – сорғы мен жетекке гидростатикалық және динамикалық жүктемені бағалау үшін негізгі параметрлер. Сұйықтың деңгейі төмендеген кезде (мысалы, 1000 м-ден 900 м-ге дейін) сұйықтың бағанының салмағы азаяды, демек сорғыға түсетін жүктеме азаяды. Бұл плунжерге гидростатикалық жүктемені азайтуға әкеледі, яғни сұйықты көтеру үшін талап етілетін күш пен қуат төмендейді.

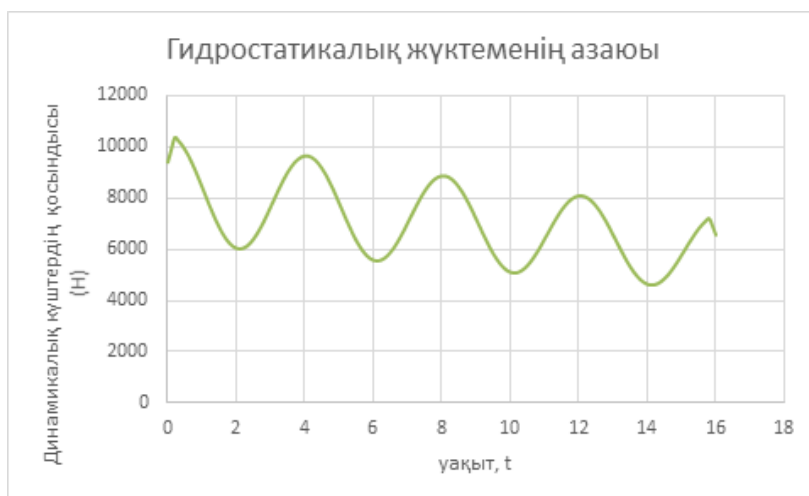
Ваттметрограммада бұл қуат шыңының амплитудасының азаюы ретінде көрінеді, әсіресе сорғы сұйықты көтеретін циклдың фазаларында.

Сондай-ақ мұнайдың динамограммасы да өз ықпалына ие (сұйықтың динамикалық кедергісі). Сорғыда сұйықтың қозғалысы кезінде тұтқырлығына, тығыздығына, ағын жылдамдығына және сорғының сипаттамасына байланысты тұтқыр кедергі және инерциялық әсерлер (сұйықтың үдеуі және баяулауы) пайда болады. Бұл әсерлер статикалық гидростатикалық қысымнан ерекшеленетін күштің тербелісін көрсететін динамограмма деп аталатын жүктеменің динамикалық құрамдас бөлігін қалыптастырады. Динамограмманы есепке алу сорғы мен тербелістің нақты жұмысын нақты модельдеуге мүмкіндік береді. Ваттметрограмма формасына әсер ететін қосымша тербелістер мен ең жоғары жүктемелер пайда болады. Мысалы, плунжер жылдамдығының күрт өзгеруі кезінде динамикалық кедергі артады, бұл жедел жүктемені арттырады.

Демек, сұйықтың деңгейінің төмендеуі жалпы жүктемені азайтады және ваттметрограмма амплитудасын азайтады. Мұнай динамограммасы қуат профилін күрделендіре отырып, жүктемеге динамикалық тербелістерді қосады. Екі фактор бірге есептерді неғұрлым шынайы етеді, бұл қарсы салмақты, қозғалтқыш қуатын дұрыс таңдау және реттеу және тербелме станогының жұмысын оңтайландыру үшін маңызды.



Сурет 7 – Мұнай деңгейінің түсуіне байланысты массаның азаюы



Сурет 8 – Гидростатикалық жүктеменің азаюы

Кинематика мен кинетостатиканы есептеудің математикалық моделін пайдалана отырып, штангалық сорғы құрылғысын есептеу және ватметрограмма құру кодын Python бағдарламалық ортасында аламыз.

Сондай-ақ нақты қондырғы үшін қолданылған электромотор мен редуктордың сипаттамаларын ескереміз.

Асинхронды электрқозғалтқыш 4BP100L4 – жарылысқа төзімді үшфазалы асинхронды электрқозғалтқыш, қуаты 4 кВт, айналу жиілігі 1410 айн/мин, қысқа тұйықталған ротор. ГОСТ стандарты бойынша габарит пен қуат байланыстырылған. 380В кернеулі үшфазалы айнымалы ток желісіне қосуға арналған. Негізгі сипаттамалары:

- ♦ Қуаты: 4 кВт
- ♦ Айналу жиілігі: 1500 айн/мин (нақтысы — 1410 айн/мин)
- ♦ Кернеу: 380 В

Техникалық деректер:

- ♦ Айналу жиілігі: 1000 айн/мин
- ♦ Қуаты: 4 кВт
- ♦ Үлгісі: 4BP
- ♦ Кернеу: 380 В
- ♦ Валының диаметрі: 28 мм
- ♦ ГОСТ Р 51689-2000 стандартына сәйкес

Электрлік сипаттамалары:

- ♦ Номиналды қуаты: 4.0 кВт
- ♦ Валының нақты айналу жиілігі: 1410 айн/мин
- ♦ ПӘК: 85%
- ♦ Номиналды ток: 8.8 А (380 В)
- ♦ Іске қосу тогы: 52.8 А
- ♦ Номиналды айналдыру моменті: 23.03 Н·м
- ♦ Іске қосу моменті: 52.9 Н·м
- ♦ Максималды момент: 66.78 Н·м
- ♦ Инерция моменті: 0.101 кг·м<sup>2</sup>

Редуктор (Тісті беріліс) Ц2У-160 және 1Ц2У-160 – екі сатылы цилиндрлік горизонталь редуктор, төмен айналатын біліктің осьаралық аралығы – 160 мм.

Ерекшеліктері:

- ♦ Беріліс қатынасы: 8–40
- ♦ Шығыс моменті: 1000 Н·м

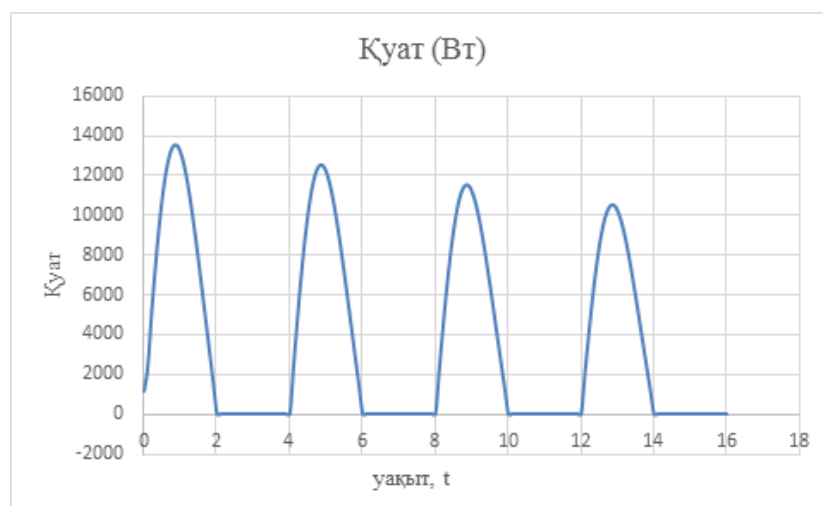
- ♦ Шығыс білікке түсетін радиалды жүктеме: 8000 Н
- ♦ КПД: 0.97
- ♦ Май көлемі: 4.5 л

Штангалық сорғы құрылғысының сипаттамалары (ШСҚ):

- ♦ Жүк көтергіштігі: 850 кг
- ♦ Жұмыс жүрісі: 2 м

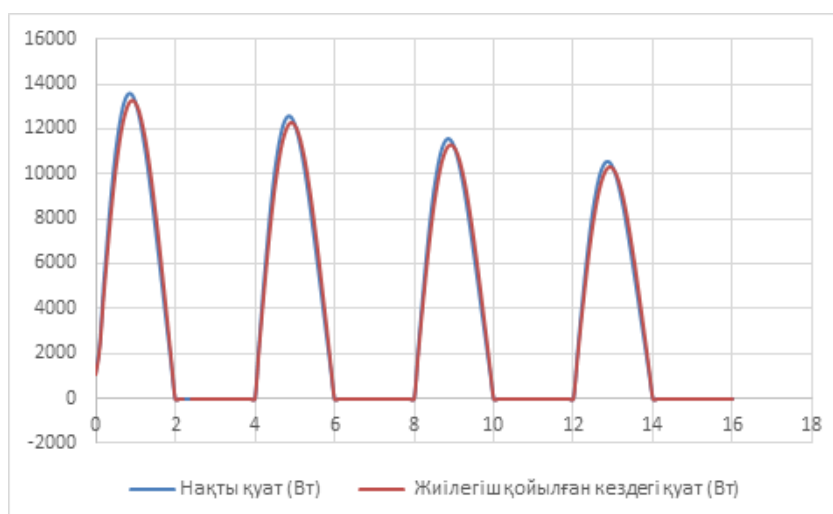
Сонда келесі ваттметрограмманы аламыз

Сұйықтық деңгейінің төмендеуі сорғыға гидростатикалық жүктеменің азаюына әкеледі, бұл қуатты төмендетеді Тұтқыр кедергіні және сұйықтық динамикасын есептеу жүктемені есептеудің дәлдігін арттырады.



Сурет 9 – Түрлендіруші механизмнің 4 цикл қозғалысындағы ваттметрограмма

Сондай-ақ штангалы насос құрылғысының төртзвенолы жетекші механизмінің теңгерілуін оңталау үшін жиілегіш – электр қозғалтқышының жылдамдығы мен айналу моментін басқаратын, оған берілетін ток жиілігін өзгертетін электрондық құрылғы қолданамыз. Сонда ваттметрограмма салыстырмалы түрде келесідей өзгереді:



Сурет 10 – Ток жиілігін өзгертетін электрондық құрылғы қолданғаннан кейінгі ваттметрограмма

Жиілегіш айнымалы тоқты 50 Гц (айнымалы ток) желіден аладыда, оны тұрақты токқа (DC) түрлендіреді. Сосын жиілігі иен кернеуін өзгертіп қайта айнымалы токқа түрлендіреді. Бұл біліктің айналу жиілігі (айналым), біліктегі моментті, үдеткіш және тежеуді «икемді басқаруға» мүмкіндік береді.

### Қорытынды

Таңдалған тетіктерді одан әрі жетілдіру және салыстырмалы зерттеу жүргізу үшін машиналар механикасының қазіргі заманғы әдістеріне негізделген көппараметрлі оңтайландыру қажет. Осы мақсатта кинематика мен кинетостатиканы зерттеуге арналған қажетті математикалық модельдер жасалып, Python бағдарламалық ортасында есептеу бағдарламалары әзірленді.

Сұйықтық деңгейі мен динамограммадағы өзгерістерді есепке алу – қуат пен жүктеменің нақты сипаттамаларын алуға мүмкіндік береді.

- ♦ Тұрақты масса кезіндегі энергия шығыны: 66400 Дж (0,0184 кВтсағ).
- ♦ Мұнай деңгейінің түсуін ескерген кездегі энергия шығыны: 59244 Дж (0,0165 кВтсағ).
- ♦ Энергия үнемі: 10,78%.

Пайдаланудың нақты жағдайларында ШСҚ жетегі механизмінің параметрлерін оңтайландыру үшін осындай модельді пайдалану ұсынылады.

### ӘДЕБИЕТТЕР

- 1 Маляр А., Цесьлик С. Расчет процессов в электроприводе штангового насосного агрегата с компенсацией реактивной мощности // *Energies*. – 2023. <https://doi.org/10.3390/en16237782>.
- 2 Уразаков К.Р., Молчанова В.А., Тугунов П.М. Метод расчета динамических нагрузок и энергопотребления штанговой установки с системой автоматического уравнивания // *Journal of Mining Institute*. – 2020. – <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.6>.
- 3 Зюзев А.М., Текле С.И. Динамические симуляторы в задачах диагностики штанговых глубинно-насосных установок // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2022. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamicheskie-simulyatory-v-zadachah-diagnostiki-shtangovyh-glubinno-nasosnyh-ustanovok>.
- 4 Молчанов А.Г., Певнев В.Г., Тарасов К.В. Гидравлический привод штангового скважинного насоса с инерционным уравниванием // *NEFTEGAS.info*. – 2023. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gidravlicheskiy-privod-shtangovogo-skvazhinного-nasosa-s-inertsionnym-uravnovesivaniem>.
- 5 Яшин А.Н., Хакимьянов М.И. Уравнишенность установок скважинных штанговых насосов на основе анализа ваттметрограмм // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2021. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uravnovesennost-ustanovok-skvazhinnyh-shtangovyh-nasosov-na-osnove-analiza-vattmetrogramm>.
- 6 Кошкин А.А. Обзор приводов штангового скважинного насоса // *Пермский государственный технический университет*. – 2022. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-privodov-shtangovogo-skvazhinного-nasosa>.
- 7 Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Долов Т.Р., Шайхулов Р.М., Орлова Е.А. Результаты стендовых исследований работы скважинного штангового насоса в осложненных условиях эксплуатации // *Научно-технический журнал*. – 2022. [https://doi.org/10.33285/1999-6934-2022-5\(131\)-49-56](https://doi.org/10.33285/1999-6934-2022-5(131)-49-56).
- 8 Takács G. Критический анализ условий питания в системах штанговых насосов // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2022. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.110061>.
- 9 Ahmedov B., Hajiyev A. Оценка динамических сил в новой конструкции безбалансирных штанговых насосных установок // *Nafta-Gaz*. – 2020. <https://doi.org/10.18668/NG.2020.05.03>.
- 10 Гао Чжи-Вэй, Цзя Шифэн. Моделирование и управление для насосных установок: обзор // *Processes*. – 2024. – <https://doi.org/10.3390/pr12071468>.
- 11 Мардашпин И.И., Вафин И.З. Станок-качалка : пат. RU 184533 U1 Российская Федерация. – № 184533 ; опубл. 2018.

- 12 Деникин Э.И. Станок-качалка для добычи нефти : пат. RU 216643 U1 Российская Федерация. – № 216643 ; опубл. 2023.
- 13 Деникин Э.И. Станок-качалка для добычи нефти : пат. RU 212382 U1 Российская Федерация. – № 212382 ; опубл. 2022.
- 14 Яруллин А.Г., Каримов Р.Р., Мутагиров Р.Ш., Савельев Е.Н., Висковатых Е.Н., Яковлев Р.Р. Станок-качалка модернизированный : пат. RU 2747068 C1 Российская Федерация. – № 2747068 ; опубл. 2021.
- 15 Ахтямов Э.М., Осное В.Б., Асылгараева А.Ш. Натяжитель ремней автоматический для станков-качалок : пат. RU 2721066 C1 Российская Федерация. – № 2721066 ; опубл. 2020.

## REFERENCES

- 1 Malyar A., Ceslik S. Raschet protsessov v elektroprivode shtangovogo nasosnogo agregata s kompensatsiyey reaktivnoy moshchnosti. *Energies* (2023). <https://doi.org/10.3390/en16237782>. [in Russian].
- 2 Urazakov K.R., Molchanova V.A., Tugunov P.M. Metod rascheta dinamicheskikh nagruzok i energopotrebleniya shtangovoy ustanovki s sistemoy avtomaticheskogo uravnoveshivaniya. *Journal of Mining Institute* (2020). <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.6.6>. [in Russian].
- 3 Zyuzhev A.M., Tekle S.I. Dinamicheskiye simulyatory v zadachakh diagnostiki shtangovykh glubinno-nasosnykh ustanovok. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* (2022). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamicheskie-simulyatory-v-zadachah-diagnostiki-shtangovykh-glubinno-nasosnykh-ustanovok>. [in Russian].
- 4 Molchanov A.G., Pevnev V.G., Tarasov K.V. Gidravlicheskiy privod shtangovogo skvazhinogo nasosa s inertsionnym uravnoveshivaniem. *NEFTEGAS.info* (2023). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gidravlicheskiy-privod-shtangovogo-skvazhinogo-nasosa-s-inertsionnym-uravnoveshivaniem>. [in Russian].
- 5 Yashin A.N., Khakimyanov M.I. Uravnoveshennost' ustanovok skvazhinnykh shtangovykh nasosov na osnove analiza vattmetrogramm. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* (2021). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uravnoveshennost-ustanovok-skvazhinnykh-shtangovykh-nasosov-na-osnove-analiza-vattmetrogramm>. [in Russian].
- 6 Koshkin A.A. Obzor privodov shtangovogo skvazhinogo nasosa. *Permskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet* (2022). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-privodov-shtangovogo-skvazhinogo-nasosa>. [in Russian].
- 7 Ivanovskiy V.N., Sabirov A.A., Dolov T.R., Shaykhulov R.M., Orlova E.A. Rezul'taty stendovykh issledovaniy raboty skvazhinogo shtangovogo nasosa v oslozhnennykh usloviyakh ekspluatatsii. *Nauchno-tekhnicheskiiy zhurnal* (2022). [https://doi.org/10.33285/1999-6934-2022-5\(131\)-49-56](https://doi.org/10.33285/1999-6934-2022-5(131)-49-56). [in Russian].
- 8 Takacs G. Kriticheskiy analiz usloviy pitaniya v sistemakh shtangovykh nasosov. *Journal of Petroleum Science and Engineering* (2022). <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.110061>. [in Russian].
- 9 Ahmedov B., Hajiye A. Otsenka dinamicheskikh sil v novoy konstruktsii bezbalansirnykh shtangovykh nasosnykh ustanovok. *Nafta-Gaz* (2020). <https://doi.org/10.18668/NG.2020.05.03>. [in Russian].
- 10 Gao Zhi-Wei, Jia Shifeng. Modelirovaniye i upravleniye dlya nasosnykh ustanovok: obzor. *Processes* (2024). <https://doi.org/10.3390/pr12071468>. [in Russian].
- 11 Mardashpin I.I., Vafin I.Z. Stanok-kachalka : pat. RU 184533 U1 Rossiyskaya Federatsiya. No. 184533; opubl. 2018. [in Russian].
- 12 Denikin E.I. Stanok-kachalka dlya dobychi nefiti: pat. RU 216643 U1 Rossiyskaya Federatsiya. No. 216643; opubl. 2023. [in Russian].
- 13 Denikin E.I. Stanok-kachalka dlya dobychi nefiti: pat. RU 212382 U1 Rossiyskaya Federatsiya. No. 212382; opubl. 2022. [in Russian].
- 14 Yarullin A.G., Karimov R.R., Mutagirov R.Sh., Savel'ev E.N., Viskovatyh E.N., Yakovlev R.R. Stanok-kachalka modernizirovanny: pat. RU 2747068 C1 Rossiyskaya Federatsiya. No. 2747068; opubl. 2021. [in Russian].
- 15 Akhtyamov E.M., Osnos V.B., Asylgaraeva A.Sh. Ntyazhitel' remney avtomaticheskiiy dlya stankov-kachalok: pat. RU 2721066 C1 Rossiyskaya Federatsiya. No. 2721066; opubl. 2020. [in Russian].

<sup>1,2\*</sup> **Imanbayeva N.S.,**

Cand.Tech.Sc., ORCID ID: 0000-0001-6889-3421,

\*e-mail: imanbaevan@mail.ru

<sup>2</sup>**Tynyshtikov A.A.,**

Master's student, ORCID ID: 0009-0008-5341-043X,

e-mail: aidost307@gmail.com

<sup>2</sup>**Mussayev M.M.,**

Master's student, ORCID ID: 0009-0002-6917-4618,

e-mail: mussayevmery@gmail.com

<sup>3</sup>**Tattimbetova S.Zh.,**

Teacher, ORCID ID: 0009-0005-2580-7569,

e-mail: saltanattattimbetova1975@gmail.com

<sup>4</sup>**Algozhayeva R.S.,**

Senior lecturer, ORCID ID: 0000-0003-1575-5425,

e-mail: raihan\_algozhaeva@mail.ru

<sup>1</sup>D.A. Zholdasbekov Institute of mechanics and mechanical science,  
Almaty, Kazakhstan,<sup>2</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan,<sup>3</sup>Secondary School No. 196, Almaty, Kazakhstan.<sup>4</sup>Almaty University of Power Engineering  
and Telecommunications named after Gumarbek Daukeyev,  
Almaty, Kazakhstan.

## EFFICIENCY OF CALCULATION OF THE WATTMETROGRAM OF THE ROD PUMP UNIT DRIVE FOR OPTIMIZING BALANCING MODES

### Abstract

The problem of optimizing oil production has always been one of the most pressing. The article is focused on the problem of improving the energy efficiency and optimizing the operating modes of this unit for oil production using rod pumping units (SHS). The article pays special attention to accounting for a decrease in the level of oil in the well, which affects the hydrostatic pressure and the load on the pump. The results of kinematic and kinetostatic analyzes of the transforming mechanism of the rod pump unit Drive are obtained. Based on the same results, the wattmetrogram was calculated. With its help, it allows not only to control energy consumption, but also to fine-tune the balance mechanisms and drive systems to increase the overall efficiency and identify its weaknesses. The decrease in the oil level reduces the overall load and, accordingly, we see that the amplitude of the wattmetrogram decreases. The oil dynamogram adds dynamic vibrations to the load, complicating the power profile. Together, the two factors make the reports more realistic, which is important for the correct selection and adjustment of counterweights, engine power, and optimization of the operation of the MSS. The results in the article are obtained taking into account the characteristics of the Electromotive and reducer used in the straight-line guide converter mechanism of a Class II quadruple drive of a specific SHS unbalanced drive.

**Keywords:** rod pump unit (SHS), transforming mechanism, kinematics, kinetostatics, rotating torque, power, wattmetrogram.

<sup>1,2\*</sup>**Иманбаева Н.С.,**

к.т.н., ORCID ID: 0000-0001-6889-3421,

\*e-mail: imanbaevan@mail.ru

<sup>2</sup>**Тыныштиков А.А.,**

магистрант, ORCID ID: 0009-0008-5341-043X,

e-mail: aidost307@gmail.com

<sup>2</sup>**Мусаев М.М.,**

магистрант, ORCID ID: 0009-0002-6917-4618,

e-mail: mussayevmery@gmail.com

<sup>3</sup>**Таттимбетова С.Ж.,**

учитель, ORCID ID: 0009-0005-2580-7569,

e-mail: saltanattattimbetova1975@gmail.com

<sup>4</sup>**Алғожаева Р.С.,**

старший преподаватель, ORCID ID: 0000-0003-1575-5425,

e-mail: raihan\_algozhaeva@mail.ru

<sup>1</sup>Институт механики и машиностроения им. У.А. Джолдасбекова,  
г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Сатпаев университет, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>196-я общеобразовательная школа, г. Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Алматинский университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева,  
г. Алматы, Казахстан

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАСЧЕТА ВАТТМЕТРОГРАММЫ ПРИВОДА УСТАНОВКИ ШТАНГОВОГО НАСОСА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ БАЛАНСИРОВКИ**

### **Аннотация**

Проблема оптимизации добычи нефти всегда была одной из актуальных. Статья посвящена проблеме повышения энергоэффективности и оптимизации режимов работы данной установки для добычи нефти с помощью стержневых насосных установок (ПКС). Особое внимание в статье уделяется учету снижения уровня нефти в скважине, что влияет на гидростатическое давление и нагрузку на насос. Получены результаты кинематического и кинетостатического анализов преобразовательного механизма привода штанговой насосной установки. На основании этих результатов рассчитана ваттметрограмма. С его помощью можно не только контролировать потребление энергии, но и точно регулировать балансирующие механизмы и системы привода для повышения общей эффективности, а также выявлять его слабые стороны. Снижение уровня масла снижает общую нагрузку, и, соответственно, мы видим уменьшение амплитуды ваттметрограммы. Нефтяная динамограмма добавляет динамические колебания к нагрузке, усложняя профиль мощности. Вместе эти два фактора делают расчеты более реалистичными, что важно для правильного выбора и регулировки противовеса, мощности двигателя и оптимизации работы ПМС. Результаты в статье получены с учетом характеристик электродвигателя и редуктора, примененных в четырехзвенном прямолинейно-направляющем преобразовательном механизме II класса неуравновешенного привода УДС.

**Ключевые слова:** штанговая насосная установка (ППС), преобразовательный механизм, кинематика, кинетостатика, крутящий момент, мощность, ваттметрограмма.

Мақаланың редакцияға түскен күні: 01.07.2025