

https://doi.org/10.51885/3134-8009_IJS_2026_2_5

XFTAP 55.03.14

ТУРБОКОМПРЕССОРЛАРДЫ СЫНАУҒА АРНАЛҒАН СТЕНДІНІҢ КОНСТРУКЦИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ АРҚЫЛЫ ПОМПАЖ ҚҰБЫЛЫСЫН ЗЕРТТЕУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПОМПАЖА ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ

STUDY OF THE PHENOMENON OF SURGE BY IMPROVING THE DESIGN OF A TURBOCHARGER TEST RIG

Б.К. Калиев ¹, Ж.А. Бекмырза ², Т.В. Бедыч ³, Р. Ғабдысалық ^{4*},
С.Р. Байгереев ⁵

^{1,2}Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қ., Қазақстан

³ЖУ «Міржақып Дулатов атындағы Қостанай инженерлік-экономикалық университеті»,
Қостанай қ., Қазақстан

^{4,5}Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан

*Жауапты автор: Риза Ғабдысалық, e-mail: riza.gabdyssalyk@mail.ru

Ключевые слова:

помпаж, подшипники,
турбонаддув,
турбокомпрессор,
заслонка, резонанс,
частота, выбег.

АННОТАЦИЯ

Помпаж – это нестабильный режим работы компрессора, при котором происходят резкие скачки давления и неравномерная подача воздуха или газа. Это возникает, когда разница давлений между входом и выходом компрессора становится слишком большой. В двигателях с турбонаддувом это часто связано с изменяющимися нагрузками во время эксплуатации, из-за чего нарушается нормальная работа насосного и турбинного колёс турбокомпрессора.

Комплекс мероприятий по совершенствованию конструкции стенда для испытаний турбокомпрессора был ориентирован на моделирование реальных эксплуатационных режимов его работы и определение границ возникновения помпажных явлений. Исследования проводились с применением измерительного комплекса Polytec CLV-3D. Для регистрации вибрационных характеристик на вал турбины устанавливались специальные кольцевые элементы, прижатые к диску, посредством которых осуществлялось возбуждение колебаний. Полученные экспериментальные результаты подтвердили воспроизводимость метода и позволили установить соответствие каждого выявленного режима определённым собственным частотам колебаний. Обнаруженные частотные диапазоны целесообразно исключить из допустимых эксплуатационных режимов. Реализация данного подхода направлена на повышение надёжности и долговечности турбокомпрессора за счёт предотвращения работы в зоне помпажа.



© 2026 Б.К. Калиев, Ж.А. Бекмырза, Т.В. Бедыч, Р. Ғабдысалық, С.Р. Байгереев

Бұл жұмыс Creative Commons Attribution 4.0 халықаралық лицензиясы
(CC BY 4.0) бойынша таратылады.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Түйінді сөздер:

Помпаж, мойынтіректер,
турбомен үрлеу,
турбокомпрессор,
жапқыш, резонанс,
жиілік, еркін айналу

ТҮЙІНДЕМЕ

Помпаж – бұл компрессордың тұрақсыз жұмыс режимі, оның барысында қысымның күрт секірулері және ауаның немесе газдың біркелкі емес берілуі байқалады. Бұл компрессордың кірісі мен шығысы арасындағы қысым айырмашылығы тым үлкен болған кезде пайда болады. Турбокомпрессорлы қозғалтқыштарда бұл көбінесе жұмыс кезінде өзгертін жүктемелерге байланысты, бұл турбокомпрессордың сорғы және турбина дөңгелектерінің қалыпты жұмысын бұзады.

Турбокомпрессорды сынауға арналған стендтің конструкциясын жетілдіру жөніндегі іс-шаралар кешені оның нақты пайдалану режимдерін модельдеуге және помпаж құбылыстарының пайда болу шектерін анықтауға бағытталды. Зерттеулер Polytec CLV-3D өлшеу кешенін қолдану арқылы жүргізілді. Діріл сипаттамаларын тіркеу үшін турбинаның білігіне дискіге басылған арнайы сақина элементтері орнатылды, олардың көмегімен тербелістер қозғалды. Алынған эксперименттік нәтижелер әдістің қайталануын растады және әрбір анықталған режимнің белгілі бір табиғи тербеліс жиіліктеріне сәйкестігін анықтауға мүмкіндік берді. Анықталған жиілік диапазондарын рұқсат етілген пайдалану режимдерінен алып тастаған жөн. Бұл тәсілді іске асыру помпаж аймағында жұмыстың алдын алу есебінен турбокомпрессордың сенімділігі мен беріктігін арттыруға бағытталған.

keywords:

surge, bearings,
turbocharging,
turbocharger, valve,
resonance, frequency,
coasting.
.

ABSTRACT

Surge is an unstable compressor operating mode characterized by sudden pressure surges and uneven air or gas delivery. This occurs when the pressure difference between the compressor inlet and outlet becomes too great. In turbocharged engines, this is often due to changing loads during operation, which disrupts the normal operation of the turbocharger pump and turbine wheels.

A series of measures to improve the turbocharger test rig's design focused on simulating real-world operating conditions and determining the limits of surge phenomena. The studies were conducted using the Polytec CLV-3D measuring system.

To record vibration characteristics, special ring elements were installed on the turbine shaft, pressed against the disk, through which vibrations were excited. The experimental results obtained confirmed the reproducibility of the method and allowed us to establish the correspondence of each identified mode to specific natural vibration frequencies. It is advisable to exclude the detected frequency ranges from the permissible operating conditions. The implementation of this approach is aimed at increasing the reliability and durability of the turbocharger by preventing operation in the surge zone.

КІРІСПЕ

Ауыл шаруашылығы машиналарының қозғалтқыштарында турбокомпрессорларды қолдану қуат агрегаттарын мәжбүрлеуді және олардың меншікті қуатын арттыруды ғана емес, сонымен қатар отын үнемділігін, экологиялық сипаттамалары мен сенімділігін қоса алғанда, техникалық деңгей көрсеткіштерін кешенді арттыруға ықпал етеді. Қолданылатын тәсілдер мен жекелеген құрамдас бөліктерді бағалау әдістемелерінің белгілі бір шарттылығына қарамастан, жылу қозғалтқыштарының энергетикалық балансының сапалық сәйкестігі сақталады (Ханин және т.б., 1991).

Турбокомпрессордың помпажы оның жұмысының төтенше режимі болып табылады, ол шығуда қысым пульсациясының пайда болуымен сипатталады, бұл жұмыс дөңгелегінің қалақша аппаратына соққы жүктемелерінің пайда болуына әкеледі. Бұл жүктемелер қысқа уақыт ішінде турбокомпрессор элементтеріне айтарлықтай зақым келтіруі мүмкін. Қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасы мен помпаж шекарасы арасындағы қашықтықтың азаюына байланысты қысымның жоғарылау дәрежесі төмендеген кезде турбокомпрессор помпаждық тұрақсыздық аймағында, оның ішінде қозғалтқышқа есептелмеген ауа көлемінің түсуіне байланысты жұмыс істейтін режим сөзсіз пайда болады. Бұл жағдайларда диффузордың қалыпты жұмысы бұзылады және критикалық мәндерге жеткенде, жұмыс дөңгелегінің қалақтарынан ағын бұзылады, тән импульстік жүктемелер мен акустикалық әсерлермен бірге жүреді (Zadorozhnaya, 2015).

Трактор қозғалтқыштарына тән жүктемелердің жоғары стохастикасы олардың негізгі тораптары мен агрегаттарының істен шығу динамикасының өсуіне әкеледі (Плаксин және т.б., 2014). Қалыпты пайдалану барысында турбонаддув жүйелерімен жабдықталған қозғалтқыштарда жүктемелердің айнымалы сипаты турбокомпрессордың сорғы және турбиналық дөңгелектерінің геометриялық және пайдалану параметрлерінің өзгеруіне әкеледі, бұл практикалық зерттеулердің деректері бойынша оның элементтерінің бұзылуына себеп болады (Плаксин және т.б., 2015а). Турбокомпрессорлардың істен шығу үлесі қозғалтқыштардың жалпы істен шығу санының 7–15 % құрайтынын ескерсек (Калиев және т.б., 2019), оларды нақты пайдалану жағдайларын жаңғырта отырып, мамандандырылған стендтерде сынау жүргізудің объективті қажеттілігі туындайды. Осыған байланысты турбокомпрессорлардың сынақ стендтерінің конструкциясын жетілдіру және помпаждық құбылыстарды бақылау әдістерін енгізу пайдалану процесінде істен шығу ықтималдығын төмендетудің тиімді шаралары болып табылады (Кабанов және Грыжебовский, 2016).

Жоғарыда айтылғандарға сәйкес мақсат қойылды:

Гидравликалық аккумуляторды қолдана отырып майлау процесін жетілдіру негізінде ішкі жану қозғалтқышының турбокомпрессорларын сынау әдісі мен стендін әзірлеу.

Зерттеудің келесі міндеттері тұжырымдалды:

1. Турбокомпрессордың техникалық күйіне байланысты оның параметрлерінің, еркін айналу және үдеу үдерістерінің өзгеру заңдылықтарын анықтау.

2. Турбокомпрессордың техникалық жай-күйін кешенді және элементтік бағалау бойынша техникалық құралдар, әдістемелер кешенін әзірлеу және негіздеу.

3. Іштен жану қозғалтқышын және арнайы әзірленген конструкциядағы стендпен жабдықталған жүйені стендтік сынақтан өткізуге арналған әдістеме мен сынақ бағдарламасын әзірлеу және іске асыру.

4. Газ турбиналық үрлеу жүйелерін пайдалану сынақтарының бағдарламасын әзірлеу және іске асыру, жүргізілген зерттеулердің тиімділігін бағалау.

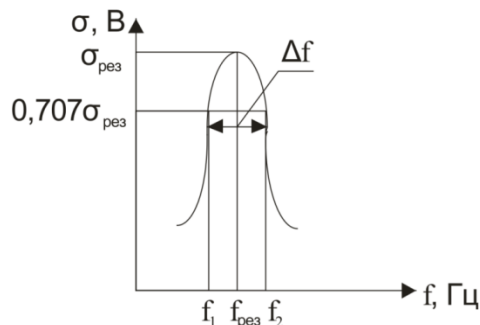
Ауыл шаруашылығы машиналарының қозғалтқыштарында турбокомпрессорларды қолдану қуат агрегаттарын мәжбүрлеуді және олардың меншікті қуатын арттыруды ғана емес, сонымен қатар отын үнемділігін, экологиялық сипаттамалары мен сенімділігін қоса алғанда, техникалық деңгей көрсеткіштерін кешенді арттыруға ықпал етеді. Жеке компоненттерді бағалау үшін қолданылатын тәсілдер мен әдістердің белгілі бір шарттылығына қарамастан, жылу қозғалтқыштарының энергетикалық балансының сапалық сәйкестігі сақталады (Ханин және т.б., 1991).

Турбокомпрессордың помпажы оның жұмысының төтенше режимі болып табылады, ол шығуда қысым пульсацияларының пайда болуымен сипатталады, бұл жұмыс дөңгелегінің қалақша аппаратына соққы жүктемелерінің пайда болуына әкеледі. Бұл жүктемелер қысқа уақыт ішінде турбокомпрессор элементтеріне айтарлықтай зақым

келтіруі мүмкін. Қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасы мен помпаж шекарасы арасындағы қашықтықтың азаюына байланысты қысымның жоғарылау дәрежесі төмендеген кезде турбокомпрессор помпаждық тұрақсыздық аймағында, оның ішінде қозғалтқышқа есептелмеген ауа көлемінің түсуіне байланысты жұмыс істейтін режим сөзсіз пайда болады. Бұл жағдайларда диффузордың қалыпты жұмысы бұзылады және критикалық мәндерге жеткенде, жұмыс дөңгелегінің қалақтарынан ағын бұзылады, тән импульстік жүктемелер мен акустикалық әсерлермен бірге жүреді (Zadogozhnaya, 2015).

Трактор қозғалтқыштарына тән жүктемелердің жоғары стохастикасы олардың негізгі тораптары мен агрегаттарының істен шығу динамикасының өсуіне әкеледі (Плаксин және т.б., 2014). Турбокомпрессорлық жүйелермен жабдықталған қозғалтқыштардың қалыпты жұмысы кезінде жүктемелердің ауыспалы сипаты турбокомпрессордың сорғы мен турбиналық дөңгелектерінің геометриялық және пайдалану параметрлерінің өзгеруіне әкеледі, бұл практикалық зерттеулердің деректері бойынша оның элементтерінің бұзылуына себеп болады (Гимадиев және т.б., 1998). Турбокомпрессорлардың істен шығу үлесі қозғалтқыштардың жалпы істен шығу санының 7-15 % құрайтынын ескерсек (Калиев және т.б., 2019), оларды нақты пайдалану жағдайларын жаңғырта отырып, мамандандырылған стендтерде сынау жүргізудің объективті қажеттілігі туындайды. Осыған байланысты турбокомпрессорлардың сынақ стендтерінің конструкциясын жетілдіру және помпаждық құбылыстарды бақылау әдістерін енгізу пайдалану процесінде істен шығу ықтималдығын төмендетудің тиімді шаралары болып табылады (Кабанов және Грыжебовский, 2016).

Серпімді жүйелердің тербеліс теориясынан жүйенің меншікті жиіліктерінің әрқайсысы белгілі бір тербеліс формасына (белгілі бір тербеліс жиілігі) сәйкес келетіні белгілі сурет 1 (Игнатъев және т.б., 2017b).



1-сурет. Виброкернеулер амплитудасының тәуелділігі: виброкернеулерінің амплитудасының σ , В жиілігіне тәуелділігі f , Гц
Ескерту – Автормен жасалған (Калиев Б.К. 2025)

Ең үлкен тербелмелі процестер теориясында резонанстық қисықты зерттеу қызығушылық тудырады.

Резонанстық қисық алынғаннан кейін ол формула бойынша өңделеді,

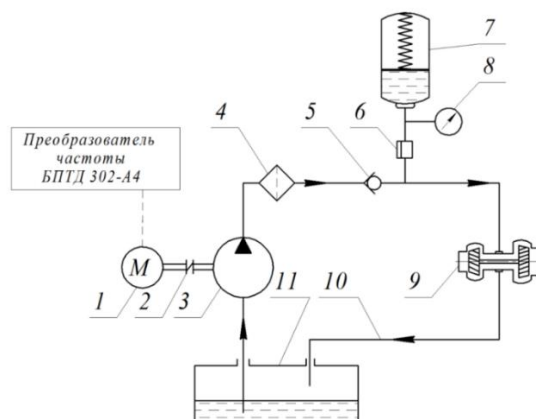
$$\delta = \frac{\pi \cdot \Delta f}{f_p}, \quad (1)$$

мұнда δ – тербелістердің декременті; Δf – резонанстық кернеу деңгейіндегі резонанстық қисықтың ені резонанстық кернеуден 0,707; f_p – резонанстық жиілік.

Ұсынылған әдіс кез-келген тербелмелі жүйеде демпферлік шаманы өлшеудің бір әдісі болып табылады.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Әдеби дереккөздерді талдау және сынақтар негізінде помпажды құбылыстарын болдырмау үшін эксперимент жүргізу қажет болды. ТКР роторын айналдырған кезде ең үлкен әсер, әсіресе, компрессор доңғалағына тез өзгеретін тербелістер кезінде көрінді. Эксперименттік зерттеулер жүргізу кезінде гидроаккумуляторы бар стенд пайдаланылды. Стендте турбокомпрессордың нақты жұмыс режимдерін пайдалану және сынақтар жүргізу кезінде помпаж шекараларын зерттеуден тұратын ТКР сынау үшін стенд дизайнын жетілдіру (2-сурет). Қазіргі уақытта зерттеу стендінің алдыңғы нұсқаларының кемшіліктерін ескере отырып, стендтің дизайны жетілдірілуде (Плаксин және т.б., 2015b).



2-сурет. Стендтің құрылымдық схемасы: 1 – асинхронды электр қозғалтқышы; 2 – муфта; 3 – тісті май сорғысы; 4 – май фильтрі; 5 – қайтармалы клапан; 6 – электромагниттік (соленоидтің) клапан; 7 – гидроаккумулятор; 8 – манометр; 9 – турбокомпрессор; 10 – құбыр; 11 – Майлы бак

Ескерту – Автормен жасалған (Калиев Б.К. 2025)

Эксперименттік зерттеулер жүргізу турбокомпрессордың стендте өткізілген критикалық сынақтардан кейінгі геометриясын тексеру және бақылауды қамтыды.. Зерттелетін объект – турбокомпрессор роторы, ол қанатшалары бар компрессордың алюминий дискінен және турбинасы бар болат біліктен тұрады. (3-сурет).



3-сурет. Өлшеу кешені лазерлік виброметр Polytec CLV-3D Laser Vibrometer және зерттелетін жүйесі ротор ТКР

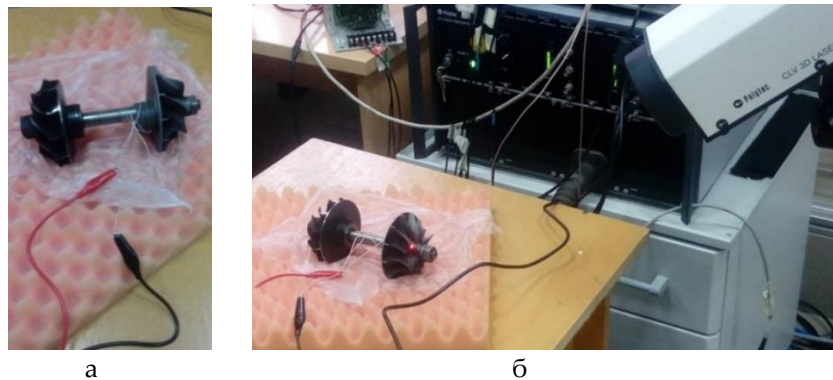
Ескерту – Автормен жасалған (Калиев Б.К., 2025)

Стендте сынақтан кейін жүргізілетін ТКР пайдалану параметрлерін өлшеу әдістемесі келесідей болды:

- турбина білігін дискімен алу;

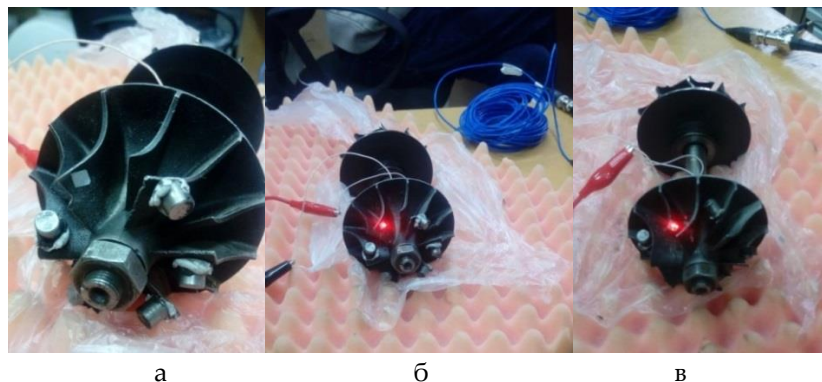
- үш компонентті лазерлік виброметр polytec CLV-3D Laser Vibrometer өлшеу кешенінде сынауға дейін және сынаудың кейін турбина мен диск параметрлерін өлшеуді жүргізу. CLV-3D кең динамикалық диапазоны, тамаша өткізу қабілеті және төмен шу оны көптеген заманауи қолданбаларда пайдалануға мүмкіндік береді. Өлшеу нүктесінің диаметрі небәрі 80 мкм кез келген акселерометрге қарағанда әлдеқайда аз және тіпті миниатюралық компоненттерде де өлшеуге мүмкіндік береді [CLV-3D Compact 3-D Laser Vibrometer for simultaneous 3-D measurement of dynamics].

Сынақтар – бұл аналогтық координаталық түрлендіруді жүзеге асыратын және x , y және z координаттары бойынша шынайы компоненттерді шығаратын дербес компьютердегі жиіліктің біркелкі өзгеруімен синусоидалы тербелістердің қозуы. Өлшеу үшін сақиналар дискіге басылған турбинаның білігіне қойылып, тербелістер "сақиналардың" көмегімен қозғалды (4, а-сурет). Жүйе үш арналы CLV лазерлік виброметрді басқару блогынан тұрады, ол CLV-3D оптикалық сенсорлық басымен қосылған, бұл бас үш тәуелсіз CLV оптикалық жүйесін қамтиды, олардың барлығы бірдей өлшеу нүктесіне, алдыңғы линзадан 310 мм қашықтықта фокусталған. (4, б-сурет). Әрбір шығатын лазер сәулесі бетке қатысты 12° бұрышпен еңкейген, бірақ өлшеу нүктесіне үш түрлі бағыттан бағытталған, олар шығу жазықтығында 120° бұрышпен бөлінген. Зерттелетін объектіге сәулелер нүктесінде өлшемі 3×3 мм² болатын арнайы фотоқағаз (5, а-сурет) желімделеді, оның көмегімен нәтиже байланыссыз тәсілмен анықталады. Біз ТКР компрессорының қалақтарында салмақпен және онсыз әртүрлі өлшеулер жүргіземіз. Салмағы 6 мм және диаметрі 5 мм, олар элементтің жергілікті өзгерістерін анықтауға көмектеседі (5, а-сурет). Үш жазықтықтағы ТКР әртүрлі элементтерінің резонанстық жиіліктері анықталады.



4-сурет. Зерттелетін жүйе

Ескерту – Автормен жасалған (Калиев Б.К. 2025)



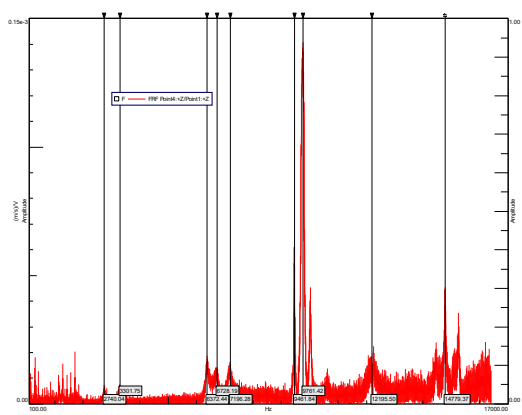
5-сурет. Зерттелетін жүйе

Ескерту – Автормен жасалған (Калиев Б.К. 2025)

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛҚЫЛАУ

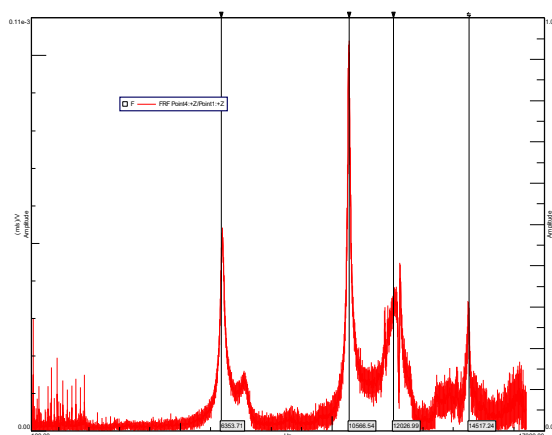
Зерттеу стендінен турбокомпрессордың роторы алынып тасталды. Сыртқы бағдарламалық есептеулер үшін бұл шикі шығыстар үш арналы деректерді жинау тақтасына қосылады және компьютермен өңделеді. Компрессор роторының резонанстық жиіліктері мен тербеліс амплитудасы дәйекті түрде тексерілді. Қанатшадан (салмақпен және салмақсыз), диск, білік және турбинаның сигналдарын өңдеу кезінде графиктерде 9500 Гц жиілігінде және компрессор дөңгелегінің қанатшасында 12100 және 17479 Гц аймақтарында өте шашыраңқы шыңдар байқалады (6-сурет).

Эксперимент барысында иық пышақтарының тербеліс жиіліктері 2740, 3301, 6372, 6728 және 7196 Гц диапазонында көптеген шыңдармен байқалды. Төменде Z осі бойынша сигналдар талданады, өйткені оларда амплитудалық тербелістердің көптеген жарылыстары бар. Пышақтарды өлшеу кезінде лазер шамамен 310 мм және сәл жоғары болды, сондықтан координаттар жүйесі айтарлықтай өзгерген жоқ. Жалпы нәтижені көрсету үшін компрессор дөңгелегінің әртүрлі нүктелерінде өлшеулер жүргізілді.



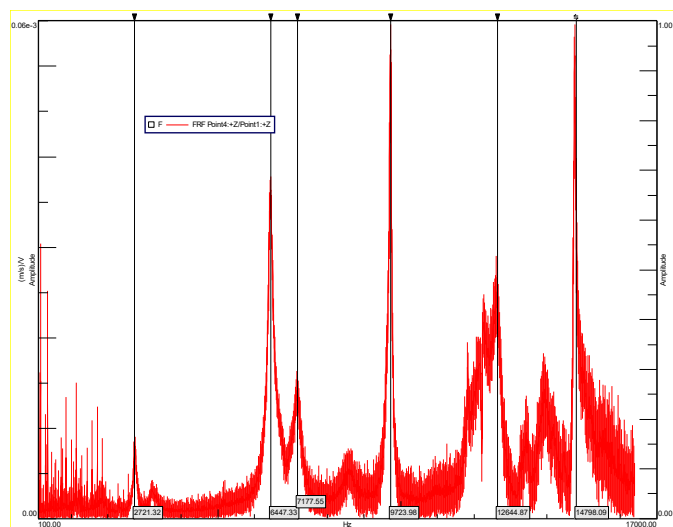
6-сурет. Компрессорлық дөңгелек роторының тербеліс амплитудасы ТКР
Ескерту – Автормен жасалған (Калиев Б.К. 2025)

Мүжілген лопатканы жүкшесімен бірге зерттеу (5а сурет). Компрессор дөңгелегінің қалақшасында өлшеу жүргізілетін біреуінен басқа, диаметрі 5 мм жүкшелер жапсырылады. Графикте сигналдарды өңдеу (7-сурет) 6353 Гц жиілікте және 10566 Гц, 12026 Гц және 14517 Гц аймағында айқын шыңдар бар.



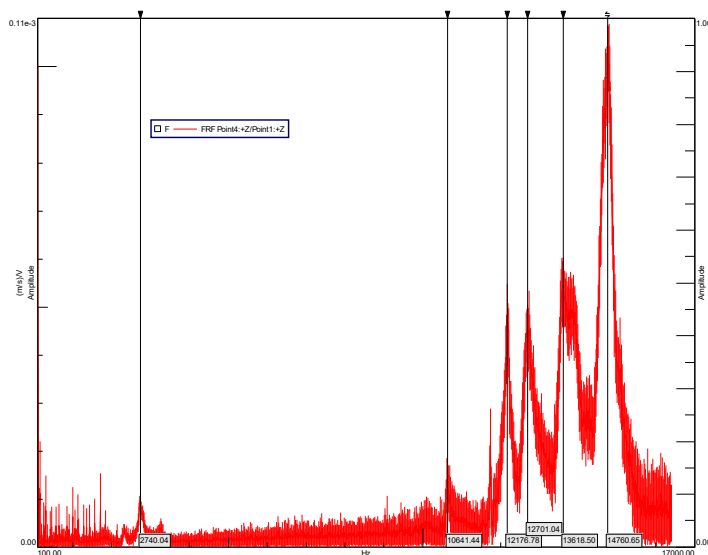
7-сурет. Мүжілген компрессор дөңгелегіндегі тербеліс амплитудалары
(қалған жүкшелерде)
Ескерту – Автормен жасалған (Калиев Б.К. 2025)

Иық пышағын салмақпен зерттеу (5, б-сурет). Сигналдарды өңдеу кезінде (8-сурет) 2721 Гц, 6447 Гц, 7177 Гц жиіліктерінен бастап, сондай-ақ 9723 Гц, 12644 Гц және 14798 Гц аймақтарында көптеген әртүрлі шыңдар байқалады.



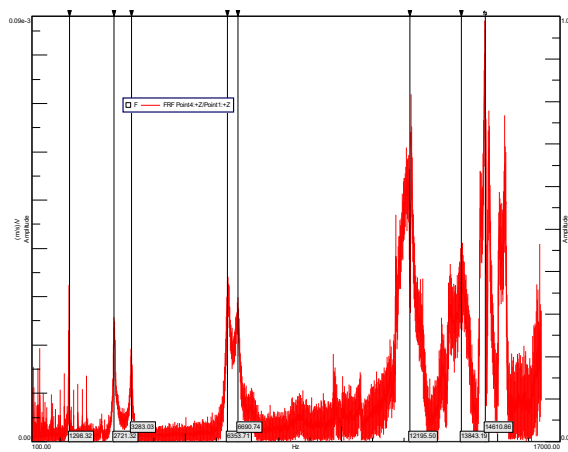
8-сурет. Компьютерлік доңғалақтың тербеліс амплитудасы
Ескерту – Автормен жасалған (Калиев Б.К., 2025)

Салмағы бар компьютерлік доңғалақтың шағын қалақшасын зерттеу (5, в сурет). Компьютер доңғелегінің қалақшасына фотобумаға жапсырылады, құрылғы бапталып, өлшеу нүктесі фокустауға келтіріледі. Графикте сигналдарды өңдеу (9-сурет) 2740 Гц жиілікте және 10641-14780 Гц аймағында айқын шыңдар бар.



9-сурет. Дөңгелектің кіші лопаткасының тербеліс амплитудалары
Ескерту – Автормен жасалған (Калиев Б.К. 2025)

Дискіні зерттеу. Шағын шыңдар 1298, 2721 және 3283 Гц. 6353, 6690 Гц графиктің ортасында айқын шыңдар. 12195, 13843 және 14610 Гц айқын шыңдар (10-сурет).



10-сурет. Компрессор дискісінің тербеліс амплитудасы

Ескерту – Автормен жасалған (Калиев Б.К. 2025)

ҚОРЫТЫНДЫ

Помпаж бұл турбокомпрессор мен айдау құбырындағы қысымның ауытқу процесін білдіретіндіктен, қозғалтқыш білігіндегі жүктеме де өзгереді, сондықтан токта жоғары гармоника немесе оның амплитудасының тербелісі пайда болады, оны түзетуге болады (Хадиев және т.б., 2014). Соңғы жылдары зерттеу техникасының дамуы спектрлік пульсацияларды шешімнің көпөлшемділігін және ағын параметрлерінің теңсіздігін ескере отырып талдауға мүмкіндік берді. Тәжірибе мен есептеулерге негізделген турбоуірлеу жүйелерінің түйіндік элементтерін жобалауды қолдану цилиндрлерден газдарды шығару және турбокомпрессор турбиналарын қамтамасыз ету процестерінің жағдайларын жақсарту нәтижесінде қозғалтқыш көрсеткіштерін елеулі түрде арттыруға мүмкіндік берді (Gritsenko et al., 2017).

Зерттеулер көрсеткендей, кешенді шаралар қолданбай, турбокомпрессордың жеке бөлшектерінің бұзылуына әкелуі мүмкін. Турбокомпрессор роторының учаскелеріндегі параметрлердің пульсациясын өлшейтін эксперименттік зерттеулер 14610 Гц-ке дейінгі үлкен шашырауды көрсетті.

Жоғарыда айтылғандар аналитикалық зерттеулер кезінде қолданылатындығын растайды және турбокомпрессор помпаждың пайда болмауы үшін одан әрі тәжірибе кезінде пайдалану режимдерінен алып тастаймыз.

Бұл тәсілдің практикасы тәжірибелі мәліметтермен толық расталады олардың әрқайсысы өз жиілігіне жауап береді. Турбокомпрессордың сенімділігін қамтамасыз ету үшін одан әрі жұмыс помпаждың пайда болуын болдырмауға бағытталатын болады.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ: мүдделер қақтығысы жоқ.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Бұл мақала авторлардың бірінің диссертациялық зерттеулерін орындау аясында, өз қаражаты есебінен дайындалды.

ИНСТИТУЦИОНАЛДЫҚ ЭТИКАЛЫҚ КОМИТЕТТІҢ (IRB) МАҚҰЛДАУЫ ТУРАЛЫ МӘЛІМДЕМЕ: Қолданылмайды.

АҚПАРАТТАНДЫРЫЛҒАН КЕЛІСІМ ТУРАЛЫ МӘЛІМДЕМЕ: Қолданылмайды.

ДЕРЕКТЕРДІҢ ҚОЛЖЕТІМДІЛІГІ ТУРАЛЫ МӘЛІМДЕМЕ: Осы техникалық зерттеудің нәтижелерін растайтын деректер негізделген сұрау бойынша жауапты автордан ұсынылуы мүмкін.

АЛҒЫС: Авторлар әріптестеріне әдістемелік қолдау және пайдалы талқылаулар үшін, сондай-ақ мақаланың сапасын жақсартуға ықпал еткен құнды ескертулер үшін анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ
ХАБАРЛАМА: Авторлар түйіндеме мәтінін қысқарту және пайдаланылған әдебиеттер тізімін безендіру үшін жасанды интеллект құралдарын пайдаланған.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- Ханин Н.С., Аболтин Э.В., Лямцев Б.Ф., Зайченко Е.Н., & Аршинов Л.С. (1991). Автомобильные двигатели с турбонаддувом: учебник для вузов. Машиностроение. // Khanin, N.S., Aboltin, E.V., Lyamtsev, B.F., Zaichenko, E.N., & Arshinov, L.S. (1991). Avtomobil'nye dvigateli s turbonadduvom [Automobile engines with turbocharging]. Mashinostroenie. (In Russ.)
- Zadorozhnaya, E.A. (2015). Solving a thermohydrodynamic lubrication problem for complex-loaded sliding bearings with allowance for rheological behavior of lubricating fluid. Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 44(1), 46–56.
- Плаксин А.М. и др. (2014). Повышение надежности турбокомпрессоров автотракторной техники применением гидроаккумулятора. Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 8, 176–180 // Plaksin, A.M., et al. (2014). Povyshenie nadezhnosti turbokompressorov avtotraktornoy tekhniki primeneniem gidroakkumulyatora [Improving the reliability of turbochargers of automotive and tractor equipment using a hydraulic accumulator]. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University], 8, 176–180. (In Russ.)
- Игнат'ев А.Г., Гриценко А.В., Бурцев А.Ю., Глемба К.В., Карпенко А.Г., & Руднев В.В. (2017а). Исследование помпажа турбокомпрессора в режимах его торможения регулируемой заслонкой. Фундаментальные исследования, 10–2, 222–227. // Ignat'ev, A.G., Gritsenko, A.V., Burtsev, A.Yu., Glemba, K.V., Karpenko, A.G., & Rudnev, V.V. (2017a). Issledovanie pompazha turbokompressora v rezhimakh ego tormozheniya reguliruemoy zaslonkoy [Study of turbocharger surge in braking modes using an adjustable damper]. Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research], 10–2, 222–227. (In Russ.)
- Плаксин А. М. и др. (2015а). Продление срока службы турбокомпрессоров автотракторной техники применением гидроаккумулятора в системе смазки. Фундаментальные исследования, 6–4, 728–732. // Plaksin, A. M., et al. (2015a). Prodlenie sroka sluzhby turbokompressorov avtotraktornoy tekhniki primeneniem gidroakkumulyatora v sisteme smazki [Extending the service life of turbochargers of automotive and tractor equipment using a hydraulic accumulator in the lubrication system]. Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research], 6–4, 728–732. (In Russ.)
- Гимадиев А.Г. и др. (1998). Снижение виброакустических нагрузок в гидромеханических системах. В.П. Шорин & Е.В. Шахматов (ред.). СГАУ // Gimadiev, A.G., et al. (1998). Snizhenie vibroakusticheskikh nagruzok v gidromekhanicheskikh sistemakh [Reduction of vibroacoustic loads in hydromechanical systems]. V.P. Shorin & E.V. Shakhmatov (Eds.). SGAU. (In Russ.)
- Калиев Б.К., Исингаев Т.И., Гриценко А.В., & Бурцев А.Ю. (2019). Анализ отказов систем наддува автотракторных ДВС. В Байтурсыновские чтения 2019: материалы Международной научно-практической конференции «Многогранность великой степи: духовное возрождение, знание и инновации» (с. 415–420) // Kaliev, B. K., Isintaev, T. I., Gritsenko, A. V., & Burtsev, A. Yu. (2019). Analiz otkazov sistem nadduva avtotraktornykh DVS [Failure analysis of boost systems of automotive and tractor internal combustion engines]. In Baitursynovskie chteniya 2019: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Mnogogrannost' velikoy stepi: dukhovnoe vrozozhdenie, znanie i innovatsii" [Baitursynov Readings 2019: Proceedings of the

- International Scientific and Practical Conference "The Versatility of the Great Steppe: Spiritual Revival, Knowledge and Innovations"] (pp. 415–420). (In Russ.)
- Кабанов О.В., & Грыжебовский А.О. (2016). Современные тенденции противопомпажной защиты компрессорного оборудования. Актуальные проблемы современной науки, 2(87), 266–269 // Kabanov, O.V., & Gryzhebovskiy, A.O. (2016). Sovremennye tendentsii protivopompazhnoy zashchity kompressorного oborudovaniya [Modern trends in anti-surge protection of compressor equipment]. Aktual'nye problemy sovremennoy nauki [Current Problems of Modern Science], 2(87), 266–269. (In Russ.)
- Игнат'ев А.Г., Гриценко А.В., & Бурцев А.Ю. (2017b). Исследование помпажа турбокомпрессоров. АПК России, 24(4), 985–989 // Ignat'ev, A.G., Gritsenko, A.V., & Burtsev, A.Yu. (2017b). Issledovanie pompazha turbokompressorov [Study of turbocharger surge]. APK Rossii [Agro-Industrial Complex of Russia], 24(4), 985–989. (In Russ.)
- Плаксин А.М., Гриценко А.В., Бурцев А.Ю., & Глемба К.В. (2015b). Способ обеспечения работоспособности турбокомпрессора дизелей с применением автономного смазочно-тормозного устройства. Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 5, 89–94. // Plaksin, A.M., Gritsenko, A.V., Burtsev, A.Yu., & Glemba, K.V. (2015b). Sposob obespecheniya rabotosposobnosti turbokompressora dizeley s primeneniem avtonomnogo smazочно-tormoznogo ustroystva [A method for ensuring the operability of diesel turbochargers using an autonomous lubrication and braking device]. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University], 5, 89–94. (In Russ.)
- CLV-3D Compact 3-D Laser Vibrometer for simultaneous 3-D measurement of dynamics. (n.d.). <https://em.susu.ru/wp-content/uploads/2017/01/Polytec-CLV-3D-3220.pdf>
- Хадиев М.Б., Зиннатуллин Н.Х., & Нафиков И.М. (2014). Механизм помпажа в центробежных компрессорах. Вестник Казанского технологического университета, 17(8), 262–266. // Khadiev, M.B., Zinnatullin, N.Kh., & Nafikov, I.M. (2014). Mekhanizm pompazha v tsentrobezhnykh kompressorakh [Mechanism of surge in centrifugal compressors]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University], 17(8), 262–266. (In Russ.)
- Gritsenko, A., Plaksin, A., & Shepelev, V. (2017). Studying lubrication system of turbocompressor rotor with integrated electronic control. Procedia Engineering, 206, 611–616. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817352104>

Авторлар туралы мәліметтер

Информация об авторах

Information about authors



Калиев Бейбит Кансбаевич – Философия докторы (PhD), аға оқытушы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Қостанай қ., Қазақстан

Калиев Бейбит Кансбаевич – Доктор философии (PhD), старший преподаватель, Некоммерческое акционерное общество «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Казахстан

Kaliyev Beibit Kansbayevich – Doctor of Philosophy (PhD), Senior Lecturer, Non-profit limited company «Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University», Kostanay, Kazakhstan

e-mail: kaliyevb@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3438-0067>



Бекмырза Жұмаш Айтжанұлы – Философия докторы (PhD), «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Қостанай қ., Қазақстан
Бекмырза Жұмаш Айтжанұлы – Доктор философии (PhD), Не-коммерческое акционерное общество «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Казахстан
Bekmyrza Zhumash Aitjanuly – Doctor of Philosophy (PhD), Non-profit limited company «Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University», Kostanay, Kazakhstan
e-mail: 5112431@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5086-4127>



Бедыч Татьяна Витальевна – техника ғылымдарының кандидаты, М.Дулатов атындағы Қостанай инженерлік-экономикалық университеті, Қостанай қ., Қазақстан
Бедыч Татьяна Витальевна – кандидат технических наук, Костанайский инженерно-экономический университет им. М. Дулатова, г. Костанай, Казахстан
Bedych Tatyana Vitalievna – Candidate of Technical Sciences, Kostanay Engineering and Economics University named after M.Dulatov, Kostanay, Kazakhstan
e-mail: tbedych@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3642-8917>



Ғабдысалық Риза – PhD, қауымдастырылған профессор, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан
Ғабдысалық Риза – PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
Gabdysalyk Riza – PhD, Associate Professor, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: riza.gabdyssalyk@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9184-0897>



Байгереев Самат Ракимғалиевич – PhD, қауымдастырылған профессор, Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан
Байгереев Самат Ракимғалиевич – PhD, ассоциированный профессор, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
Baigereyev Samat – PhD, Associate Professor, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbaev, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan,
e-mail: sbaigereyev@edu.ektu.kz
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7773-5457>