

B. R. Arapov¹, K. K. Sejtkenova¹, G. T. Shokobaeva², A. B. Teleshva³¹M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan,²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,³Kazakh national research technical university named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: assel_telesheva@mail.ru

CAMERA FOR TEST SPECIMENS IN STEEL IN CORROSIVE MEDIUM OF HIGH TEMPERATURE AND PRESSURE

Abstract. The article the original design developed and manufactured test equipment is presented. A methodology for experimental testing of steels at static and low-cycle loading in corrosive environment of high temperature and pressure is proposed. The determination of the actual characteristics of the steels used for the manufacture of high load bearing elements of the equipment of power plants, on the material which both are static and repeated-static low-frequency stress and corrosive environment with high temperature and pressure, is a complex and multifactorial problem. The design of a chamber intended for tests in corrosive environment with a temperature of 350 °C and pressure to 15 MPa. The most difficult task of measurement and control of strain of the specimen in the corrosive environment with high temperature and pressure in a closed chamber with the use of a special strainmeter and inductive strain sensor are solved. The device is developed and the methodology is worked out of creation of the calibration schedule establishing dependence between true strain of examinees of specimens and indications of the measuring device of the machine. The experimental calibration schedule which has shown existence of strict linear dependence between indications of the measuring device and strain of the examinee of a specimen is received.

Keywords: chamber high-pressure, methodology, corrosive environment, strainmeter, power installation, strength, longevity.

УДК 620.194.23

Б. Р. Арапов¹, К. К. Сейтказенова¹, Г. Т. Шокобаева², А. Б. Телешва³¹Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан,²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан,³Казахский национальный исследовательский университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

КАМЕРА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ СТАЛИ В КОРРОЗИОННОЙ СРЕДЕ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

Аннотация. В статье приводится оригинальная конструкция разработанного и изготовленного испытательного оборудования. Предлагается методика проведения экспериментальных испытаний образцов сталей на статическое и малоцикловое нагружение в коррозионно-активной среде высокой температуры и давления. Определение фактических характеристик сталей, применяемых для изготовления несущих высоконагруженных элементов оборудования энергетических установок, на материал которых одновременно действуют статические и повторно-статические низкочастотные напряжения, и коррозионно-активные среды с высокой температурой и давлением, является сложной и многофакторной задачей. Приводится конструкция камеры, предназначенная для проведения испытаний в коррозионной среде с температурой 350°C и давлением до 15 МПа. Решена самая трудная задача измерения и контроля деформации образца, находящегося в коррозионной среде с высокой температурой и давлением в замкнутой камере с использованием созданного спе-

циального деформометра и индуктивного датчика деформации. Разработано приспособление и отработана методика построения тарировочного графика, устанавливающего зависимость между истинной деформацией испытуемых образцов и показаниями измерительного прибора машины. Получен экспериментальный тарированный график, который показал наличие строгой линейной зависимости между показаниями измерительного прибора и деформацией испытуемого образца.

Ключевые слова: камера высокого давления, методика, коррозионная среда, деформометр, энергетическая установка, прочность, долговечность.

Введение. Экспериментальное исследование механических свойств сталей и определение их прочностных и пластических характеристик в условиях окружающей среды, соответствующей эксплуатационным условиям работы энергетических установок, является сложной как в методическом, так и в техническом плане задачей. В энергетических установках, генерирующих тепло и электричество, параметры рабочих сред имеют высокую температуру и давление. При этом несущие элементы таких установок подвергаются воздействию, как высоких механических переменных малоцикловых напряжений, так и высокотемпературных коррозионно-активных рабочих сред, снижающих прочность стали [1-4]. Поэтому для назначения долговечности при малоцикловой усталости и для расчета прочности его несущих элементов, необходимо знать значения фактических прочностных и пластических характеристик материалов этих несущих элементов в условиях, совпадающих с условиями работы оборудования при эксплуатации.

Исследования при экспериментальном испытании образцов стали в коррозионных средах сопряжены рядом технических трудностей, связанных с созданием для испытуемого образца окружающей среды, соответствующей параметрам по температуре и давлению. К испытуемому образцу, находящемуся в камере со средой с высокой температурой и давлением, сложно приложить нагрузку [5-10] необходимой величины, а также измерить и контролировать эту величину. Связано это с тем, что нагружающий шток, входящий в камеру со средой с высоким давлением, имеет уплотнительные системы, создающие различную величину силы трения, которую сложно измерить и контролировать в ходе проведения испытаний.

Оборудование. Для осуществления экспериментальных исследований в указанных средах, в работе разработана и изготовлена камера, представленная на рисунке 1. Камера состоит из толстостенного стального корпуса 1 с проточкой по наружной цилиндрической поверхности, предназначенной для размещения электрического нагревательного элемента 4. Испытуемый цилиндрический образец 2 одним концом ввинчивается в резьбовое гнездо, выполненное на дне камеры, а вторым концом взаимодействует с нагружающим штоком 6, куда также ввинчивается при помощи резьбового соединения.

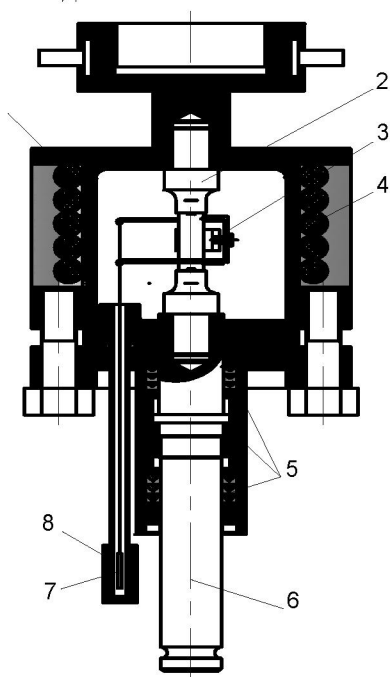


Рисунок 1 –
Камера для испытаний образцов стали
в коррозионной водной среде высокой
температуры и давления:
1 – корпус камеры; 2 – цилиндрический образец;
3 – крепление деформометра;
4 – электронагреватель;
5 – уплотнение нагружающего штока;
6 – нагружающий шток;
7 – сердечник датчика деформометра;
8 – индуктивный датчик деформации

Силовой нагружающий шток вводится в камеру посредством уплотнительных устройств 5, собранных из ряда клинообразных колец, изготовленных из фторопласта. Между вторыми и третьими рядами уплотнительных колец образована дополнительная компенсирующая камера, предназначенная для компенсации силы поршневого эффекта, создающегося из-за высокого давления среды в камере. Измерение и контроль деформации испытуемого образца осуществляется при помощи деформометра 3, закрепляемого на цилиндрической части и прижимаемого на его поверхность при помощи пружины. Измерительные ножки деформометра при помощи кронштейнов и тяг соединяются с сердечниками датчика деформации 7 на уровне индуктивных датчиков 8 деформометра, находящихся в герметичной капсуле, в виде тонкостенной трубы, изготовленной из немагнитной стали.

Заранее приготовленная коррозионная среда нужного состава при помощи плунжерного насоса высокого давления (до 15 МПа) подается одновременно в рабочую и компенсирующую камеры. Испытание образца начинается, когда температура среды дойдет до необходимой величины. Насосная станция и система регулирования давления коррозионной среды на рисунке 1 не показаны.

Методика. Измерение деформации испытуемого образца осуществляется с помощью деформометра, показанного на рисунке 2. Деформометр состоит из корпуса 5, измерительных ножей, имеющих форму ласточкин хвост, взаимодействующих с поверхностью образца 3 и связанных с кронштейнами: верхним 2 и нижним 7. На конце кронштейнов имеются лунки 1, предназначенные для подвешивания тяг, связанных с ферромагнитными сердечниками индуктивных датчиков.

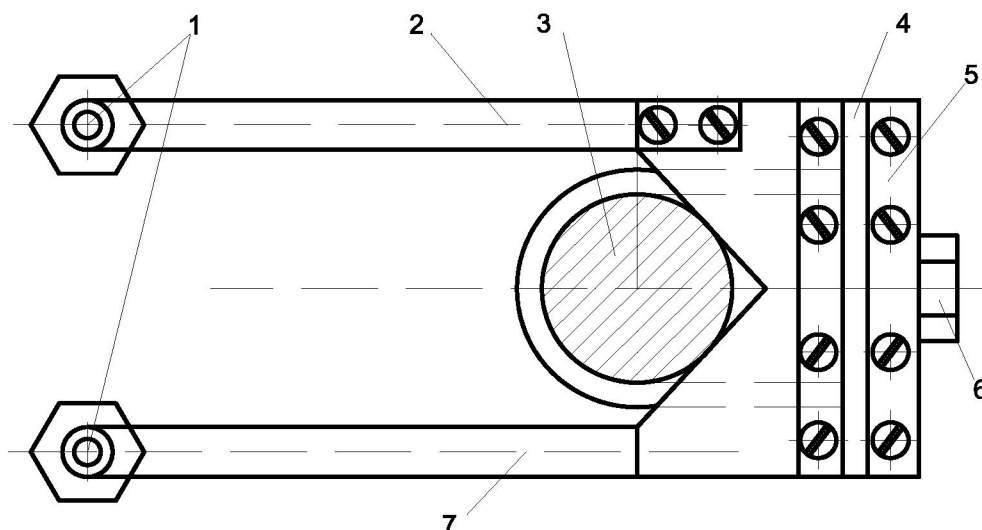


Рисунок 2 – Деформометр: вид сверху: 1 – места подвешивания тяг; 2 – верхний кронштейн; 3 – испытуемый образец; 4 – гибкая пластина; 5 – корпус деформометра; 6 – винт крепления пружины; 7 – нижний кронштейн

Деформометр на поверхности образца плотно прижимается при помощи пружины, охватывающей образец, и затягивается винтом 6. Одна из ножек деформометра связывается с его корпусом при помощи гибкой пластины.

Схема измерительного индуктивного датчика деформации показана на рисунке 3. Датчик состоит из соленоида, выполненного из трех обмоток. В первичную обмотку подается напряжение 10В с частотой 10 кГц. Соленоид надевается на герметичную капсулу снаружи (внутри капсулы расположен ферромагнитный сердечник с тягой) и фиксируется в положении, когда выходное напряжение датчика будет равняться нулю. При перемещении ферромагнитного датчика из среднего положения в одну или в другую стороны, происходит изменение напряжения во вторичных катушках, выпрямленные напряжения от которых соединяются в противоположной полярности. На выходе результирующее напряжение является пропорциональной величине перемещения сердечника, а ее полярность – направлению перемещения, то есть величине и направлению деформации образца.

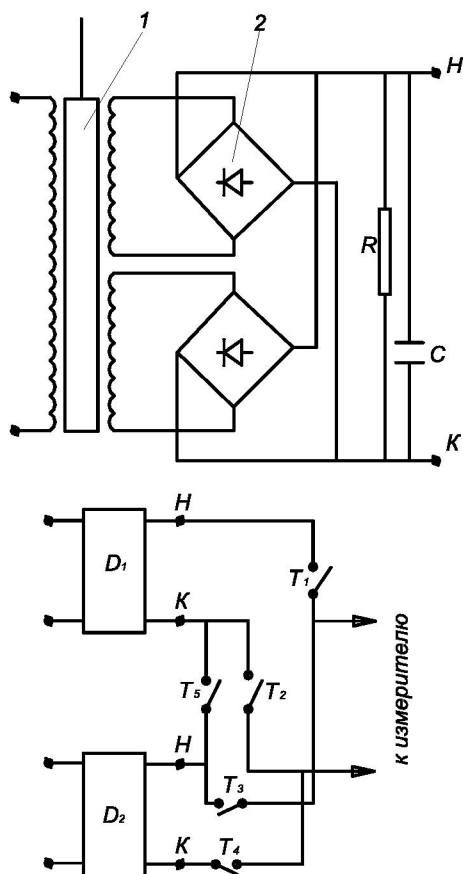


Рисунок 3 – Схема измерительного датчика:
1 – ферромагнитный сердечник датчика;
2 – выпрямитель

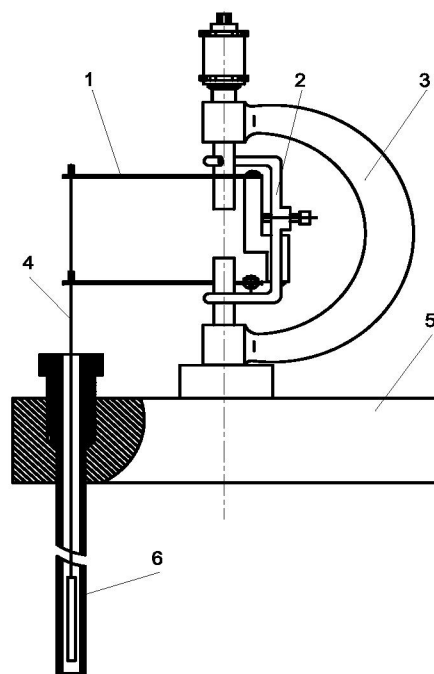


Рисунок 4 – Приспособление для тарировки деформометра:
1 – кронштейны; 2 – деформометр; 3 – микрометр; 4 – тяги;
5 – крышка камеры; 6 – герметичная капсула

Измерение деформации образца осуществляется по разности показаний двух датчиков, взаимодействующих с кронштейнами, закрепленными к разным измерительным ножкам деформометра. Датчики №1 и №2 соединяются также с обратной полярности последовательно, при этом будут включены тумблеры T_1 , T_4 , T_5 , а тумблеры T_2 и T_3 будут разомкнуты. Настройка и регулировка датчиков №1 и №2 осуществляются подключением каждого из них в отдельности к измерительному прибору. Настройка датчика №1 заключается в приведении в исходное состояние его показания, то есть, в нулевое положение, когда будут включены тумблеры T_1 и T_2 при отключенных T_3 , T_4 , T_5 . При настройке датчика №2 будут включены тумблеры T_3 , T_4 , а остальные будут разомкнутыми.

Результаты тарировки. Для количественной оценки величины деформации образца предварительно устанавливается связь между показаниями деформометра и истинной деформацией образца путем построения тарировочного графика. Построение тарировочного графика осуществляется с применением приспособления, показанного на рисунке 4.

В приспособление на рисунке 4 устанавливается разрезанный образец, состоящий из двух полуобразцов такого же диаметра, что и испытуемый образец к которому устанавливается деформометр.

Тарировочный график связывает показания прибора в милливольты с относительной деформацией образца в процентах на базе измерения 20 мм. При различных значениях перемещения верхней части полуобразца, задаваемого с помощью микрометрического винта, равного абсолютной деформации образца, фиксируются показания измерительного прибора. Полученный таким образом график зависимости показаний прибора в милливольты от относительной деформации образца на базе 20 мм показан на рисунке 5, который называется тарировочным графиком.

Как видно из этого графика, зависимость показаний измерительного прибора от упругопластической деформации образца укладывается в прямую линию в пределах измеренной деформации.

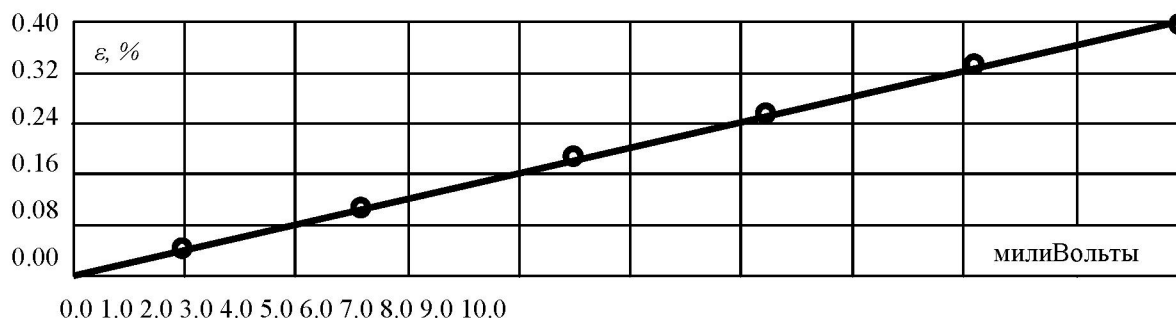


Рисунок 5 – Тарировочный график деформометра

Используя тарировочный график на рисунке 5, который построен экспериментально с использованием разработанного приспособления, можно осуществить измерение текущей деформации образца в ходе испытания при мягком режиме циклического нагружения, а также задать амплитуду упругопластической деформации при жестком режиме испытания.

Закключение. Разработана и изготовлена камера, позволяющая проводить испытания образцов сталей в режиме мягкого и жесткого малоциклового нагружения в коррозионно-активной среде с высокой температурой и давлением. Изготовленная камера также пригодна для проведения испытаний на статическое растяжение образцов сталей в высокотемпературной коррозионной среде с целью определения фактических характеристик механических свойств материала. Разработан деформометр, предназначенный для измерения текущей деформации образца, находящегося в камере с высокотемпературной средой в режиме мягкого нагружения, и для задания амплитуды упругопластической циклической деформации при жестком нагружении. Отработана методика проведения экспериментального исследования прочности и долговечности сталей на малоцикловую усталость в среде высокой температуры и давления. Получен тарировочный график, устанавливающий взаимосвязь между деформацией образца и показаниями измерительного и управляющего приборов, используя который можно проводить испытания на малоцикловую усталость образцов сталей как в режиме мягкого, так и в режиме жесткого нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Карпенко Г.В. Физико-химическая механика конструкционных материалов. – Киев: Наукова думка, 1985. – Т. 1. – 227 с.
- [2] Назаров А.А. Коррозионное растрескивание нестабилизированных хромо-никелевых сталей в воде высокой чистоты // Вопросы судостроения. Серия Металловедение. – 1982. – Вып. 35. – С. 52-60.
- [3] Назаров А.А. Механизм коррозии под напряжением стали типа X18H10 в растворах хлоридов // Защита металлов. – 1982. – Т. 13, вып. 2. – С. 212-216.
- [4] Чувствительность механических свойств к действию среды / Пер. с англ., под ред. Е. Д. Щукина. – М.: Мир, 1969. – 352 с.
- [5] Лискевич И.Ю., Ткаченко Н.М., Колиушко Б.Ф., Мелехов Р.К., Василенко И.И., Мизенский В.Л., Бережко Б.И. Методы исследования материалов при повышенных температурах и давлениях // Физико-химическая механика материалов. – 1968. – № 6. – С. 719-721.
- [6] Лискевич И.Ю., Ткаченко Н.М., Ринецкий С.И., Зюбрик А.И., Мысьшин О.А. Установка для испытаний материалов циклическим упруго-пластическим кручением при повышенных температурах и давлениях рабочих сред // ФХММ. – 1970. – № 4. – С. 79-81.
- [7] Пивоваров В.П., Шинкаренко В.И., Молкин А.С., Верганский В.С. Установка для исследования влияния статического и пульсирующего нагружения на процесс коррозионного растрескивания металлов // Заводская лаборатория. – 1973. – № 10. – С. 1263-1267.
- [8] Меркушев А.А., Неманов С.Н. К методике исследования масштабного фактора на коррозионно-усталостную прочность конструкционных сталей // Заводская лаборатория. – 1970. – № 12. – С. 1500-1502.
- [9] Петрина Ю.Д., Ленец И.А. Исследование кинетики распространения трещин в цилиндрических образцах при циклическом нагружении в жидких средах // ФХММ. – 1974. – № 3. – С. 108.
- [10] Филатов В.М., Громова А.И., Денисов В.Г., Васильев В. Методика длительных коррозионно-усталостных испытаний сталей в водном теплоносителе // Зав. лаборатория. – 1982. – Т. 48, № 4. – С. 64-67.

REFERENCES

- [1] Karpenko G.V. Fiziko-himicheskaya mekhanika konstrukcionnyh materialov. Kiev: Naukova dumka, **1985**. Vol. 1. 227 p. (in Russ.).
- [2] Nazarov A.A. Korrozionnoe rastreskivanie nestabilizirovannyh hromo-nikelevyhstalej v vode vysokoj chistoty // Voprosy sudostroeniya. Seriya Metallovedeniya. **1982**. Issue 35. P. 52-60 (in Russ.).
- [3] Nazarov A.A. Mekhanizm korrozii pod napryazheniem stali tipa H18N10 v rastvorah hloridov // Zashchita metallov. **1982**. Issue 2, vol. 13. P. 212-216 (in Russ.).
- [4] Chuvstvitel'nost' mekhanicheskikh svoystv k dejstviyu sredy / Translation from English, edited by E. D. Shchukinao M.: Mir, **1969**. 352 p. (in Russ.).
- [5] Liskevich I.Yu., Tkachenko N.M., Koliushko B.F., Melekhov R.K., Vasilenko I.I., Mizenskiy V.L., Berezhko B.I. Metody issledovaniya materialov pri povyshennyh temperaturah i davleniyah // Fiziko-himicheskaya mekhanika materialov. **1968**. N 6. P. 719-721 (in Russ.).
- [6] Liskevich I.Yu., Tkachenko N.M., Rineckij S.I., Zyubrik A.I., Mysyshchin O.A. Ustanovka dlya ispytaniy materialov ciklicheskim uprugoplasticheskim krucheniem pri povyshennyh temperaturah i davleniyah rabochih sred // FHMM. **1970**. N 4. P. 79-81 (in Russ.).
- [7] Pivovarov V.P., Shinkarenko V.I., Molkin A.S., Verganskiy V.S. Ustanovka dlya issledovaniya vliyaniya staticheskogo i pul'siruyushchego nagruzheniya na process korrozionnogo rastreskivaniya metallov // Zavodskaya laboratoriya. **1973**. N 10. P. 1263-1267 (in Russ.).
- [8] Merkushev A.A., Nemanov S.N. K metodike issledovaniya masshtabnogo faktora na korrozionno-ustalostnuyu prochnost' konstrukcionnyh stalej // Zavodskaya laboratoriya. **1970**. N 12. P. 1500-1502;
- [9] Petrina Yu.D., Lenec I.A. Issledovanie kinetiki rasprostraneniya treshchin v cilindricheskikh obrazцах pri ciklicheskom nagruzhении v zhidkikh sredah // FHMM. **1974**. N 3. P. 108. (in Russ.).
- [10] Filatov V.M., Gromova A.I., Denisov V.G., Vasil'ev V. Metodika dlitel'nyh korrozionno-ustalostnyh ispytaniy stalej v vodnom teplonositele // Zavodskaya laboratoriya. **1982**. Vol. 48, N 4. P. 64-67 (in Russ.).

Б. Р. Арапов¹, К. К. Сейтказенова¹, Г. Т. Шокобаева², А. Б. Телешва³

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Шымкент, Қазақстан,

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

³Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРА МЕН ҚЫСЫМДА ТОТЫҚТЫРУ ОРТАСЫНДА БОЛАТ ҮЛГІЛЕРДІ СЫНАУҒА АРНАЛҒАН КАМЕРА

Аннотация. Мақалада жаңадан жасалған ерекше құрылымды сынақ қондырғысының нақты үлгісі мен жоғарғы температуралы және қысымдағы тотықтырушы ортада болаттың үлгілерін статикалық және төменгі жиіліктегі қайталанбалы айнымалы азциклды кернеулер әсеріне тәжірибелік сынақ жүргізуге арналып жасалған әдіс келтірілген. Энергетикалық қондырғылардың құрылымында қолдануға арналған және жоғарғы температура мен қысымдағы тотықтырушы ортаның әсеріне ұшырайтын әрі төменгі жиіліктегі қайталанбалы азциклды жоғарғы дәрежедегі кернеулермен жүктелетін бөлшектерін жасайтын болаттардың шынайы механикалық қасиеттерін анықтау күрделі және көп факторға тәуелді мәселе болып табылады. Температурасы 350°C және қысымы 15 МПа тотықтырушы ортада тәжірибелік сынақтар жүргізуге арналған камераның құрылымы келтірілген. Тұйықталған камераның ішіндегі жоғарғы температурадағы және қысымдағы ортада орналасқан сыналатын үлгінің деформациясын өлшейтін деформометр мен индуктивті сезімтал датчик жасалған және оны қолдану арқылы оның деформациясын өлшеуге және бақылауға арналған күрделі мәселе шешілген. Машинаның өлшегіш приборының көрсетуі мен үлгінің шынайы деформациясы арасындағы байланысты орнататын тарирленген графикті құруға арналған арнайы сайман ойлап табылған әрі нақты нұсқасы жасалған және оны қолдану арқылы тарирленген графикті құру әдісі жасалған. Осы тәсілмен құрылған тәжірибелік тарирленген график сыналатын үлгінің шынайы деформациясы мен өлшегіш прибордың көрсетулері арасында түзу сызықты байланыс барын көрсеткен.

Түйін сөздер: жоғары қысым камерасы, әдіс, тотығу ортасы, деформометр, энергетикалық жабдық, ақаулық, ұзақ уақыт жұмыс істеу.