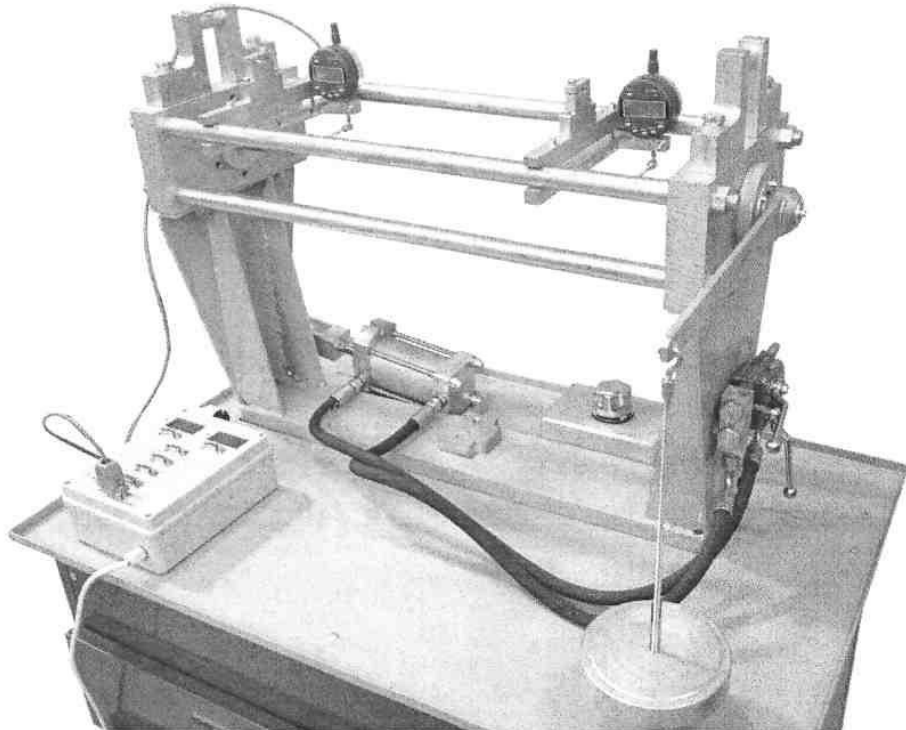


**Г.Д.Асанова, Б.Н.Жаналинов**

**Материалдар кедергісі  
пәнінің әдістемелік оқу құралы.  
Зертханалық - тәжірибелік жұмыстар**



Қостанай, 2021

Қазақстан Республикасының білім және ғылым министрлігі

А.Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті

А.Айтмухамбетов атындағы инженерлік – техникалық институт

Машина жасау кафедрасы

Г.Д.Асанова, Б.Н.Жаналинов

**Материалдар кедергісі пәнінің әдістемелік оқу құралы.  
Зертханалық - тәжірибелік жұмыстар**

Костанай, 2021

УДК 539.4 (075.8)

ББК 30.121. я 73

М29

**Құрастырушылар:**

Асанова Гульмира Давидовна, машина жасау кафедрасының аға оқытушы;  
Жаналинов Базарбай Нургалиевич, техника ғылымының кандидаты, машина жасау кафедрасының қауымдастырылған профессорі

**Пікір берушілер:**

Шаяхметов Амангельды Булатович, М. Дулатов атындағы Қостанай инженерлік – экономикалық университетінің ғылыми жұмыстар және инновация жөнінде проректоры, қауымдастырылған профессор, техника ғылымының кандидаты  
Курманов Аяп Конлямжаевич – А.Байтұрсынов атындағы ҚӨУ машина жасау кафедрасының меңгерушісі, профессор, техника ғылымының докторы,  
Рыспаев Қуаныш Сабыржанович, А.Байтұрсынов атындағы ҚӨУ машина жасау кафедрасының профессоры, техника ғылымының кандидаты

Асанова Г.Д, Жаналинов Б.Н.

М29 Материалдар кедергісі пәнінің әдістемелік оқу құралы. Зертханалық - тәжірибелік жұмыстар.– Қостанай: А.Байтұрсынов атындағы ҚӨУ 2021. 96 б.

ISBN 978-601-356-090-8

Оқу құралына енгізілді: зертханалық жұмыстар, олардың теориялық негіздері, жұмыста қолданатын құрал жабдықтар, жұмыстарды орындау тәртібі, есеп беру формасы, өндік тексеруге арналған сұрақтар.

Оқу құралы инженерлік мамандықта оқитын студенттерге, сондай – ақ материалдар кедергісі пәнін жүргізуші жоғарғы оқу орындарының мұғалімдеріне ұсынылады.

УДК 539.4 (075.8)

ББК 30.121. я 73

М29

А.Байтұрсынов атындағы Қостанай мемлекеттік университетінің Оқу әдістемелік кеңесінің шешімімен бекітілді және басылуға ұсынылады 30 қараша 2021 ж., хаттама №.7

ISBN 978-601-356-090-8

© А.Байтұрсынов атындағы Қостанай өңірлік университеті

© Асанова Г.Д., Жаналинов Б.Н., 2021

## Мазмұны

1.	Зертханалық жұмыстарға жалпы түсініктемелер	
1.1	«Материалдар кедергісі негіздері (МКН) өлшеу» бағдарламасы туралы түсініктеме.....	5
1.2	Зертханалық құрылғымен (стендпен) жұмыс істеудің жалпы тәртібі.....	9
2.	Зертханалық жұмыстардың сипаттамасы.....	10
2.1	Зертханалық жұмыс № 1 Өлшеу құралдары.....	11
2.2	Зертханалық жұмыс № 2. Пластикалық материалдың созылу деформациясын тәжірибеде анықтау.....	17
2.3	Зертханалық жұмыс № 3. Болаттың серпімділік модулін және Пуассон коэффициентін анықтау.....	28
2.4	Зертханалық жұмыс №4. Материалдың ысырылу модулін анықтау .....	32
2.5	Зертханалық жұмыс № 5. Пластикалық материалдарды қиылуға сынау.....	40
2.6	Зертханалық жұмыс № 6. Иілген сырықтағы орын ауыстыруды анықтау.....	46
2.7	Зертханалық жұмыс № 7. Иілу кезіндегі арқалықтың қимасындағы кернеуді анықтау.....	53
2.8	Зертханалық жұмыс № 8. Күрделі жүктемедегі арқалықтың кернеулік күйін анықтау.....	62
2.9	Зертханалық жұмыс №9. Сығылуда тұрған сырықтың орнықтылығын зерттеу.....	70
2.10	Зертханалық жұмыс № 10 . Жұқа қабырғалы жабық емес профильдің иілу орталығын анықтау.....	77
2.11	Зертханалық жұмыс № 11 . Созылып тұрған жолақ темірдегі тесіктің айналасында жинақталған кернеуді тәжірибеде бағалау....	83
2.12	Зертханалық жұмыс № 12. Жұмыстардың өзара ауыстырымдылығы.....	91
3	Пайдаланған әдебиеттер тізімі.....	96

## 1. Зертханалық жұмыстарға жалпы түсініктемелер

Зертханалық жұмыстар ұсынылып отырған методикалық материалдармен және МКН (материалдар кедергісінің негіздері) (ОСМ- основы сопротивления материалов) нұсқаулығын пайдалана отырып жүргізіледі.

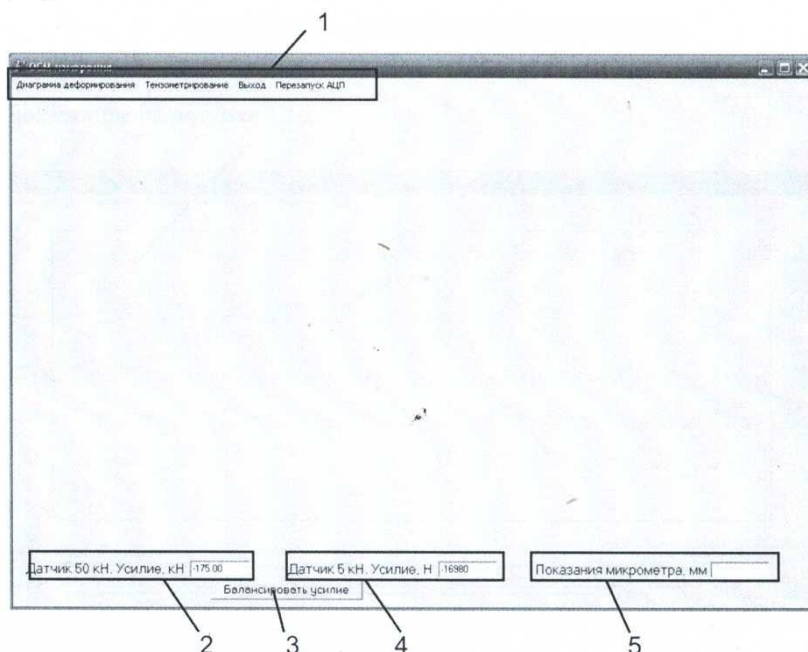
### «Материалдар кедергісі негіздерін (МКН) өлшеу» бағдарламасы туралы түсініктеме.

«МКН өлшеу» бағдарламасы «Материалдар кедергісінің негіздері» оқу стендін пайдалана отырып жүргізуге арналаған.

Бағдарламаны жеке (персоналды) компьютермен жұмыс істеуге базалық тәжірибесі бар MS Windows 7/8/10 оператор жүргізуге тиіс. Бағдарламада жазылатын барлық файлдарды оператор таңдап алады және олардың дискідегі орнын оператор көрсетеді.

*Егер жұмысты жүргізу барысында маңызды ақпараттар оператордың мамандығы жетіспеушіліктен жоғалса, онда оқу стендін және бағдарламаны жасаушылар өздерінің жауапкершілігіне алмайды.* Бағдарламаны іске қосушы оператор осы шартпен келіскендігін білдіреді.

Бағдарлама MS Windows 7/8/10 операциондық жүйелерімен жұмыс істеуге арналған. Бағдарлама компьютерге үш файлан тұратын: OSM.exe, Lusbari.dll, коеP.dat. папкаларды жай көшіру арқылы түсіріледі. Файл коеP.dat датчиктердің өлшенген (тарировочные) коэффициенттерінен тұрады. Сонымен қатар, бағдарламаның жұмыс істеуі үшін драйвер плата АЦП, фирма L-card (бір комплектіде) орналастырылған. Драйверді операциондық жүйе Windows стандарттық құралдарымен орналастырады.



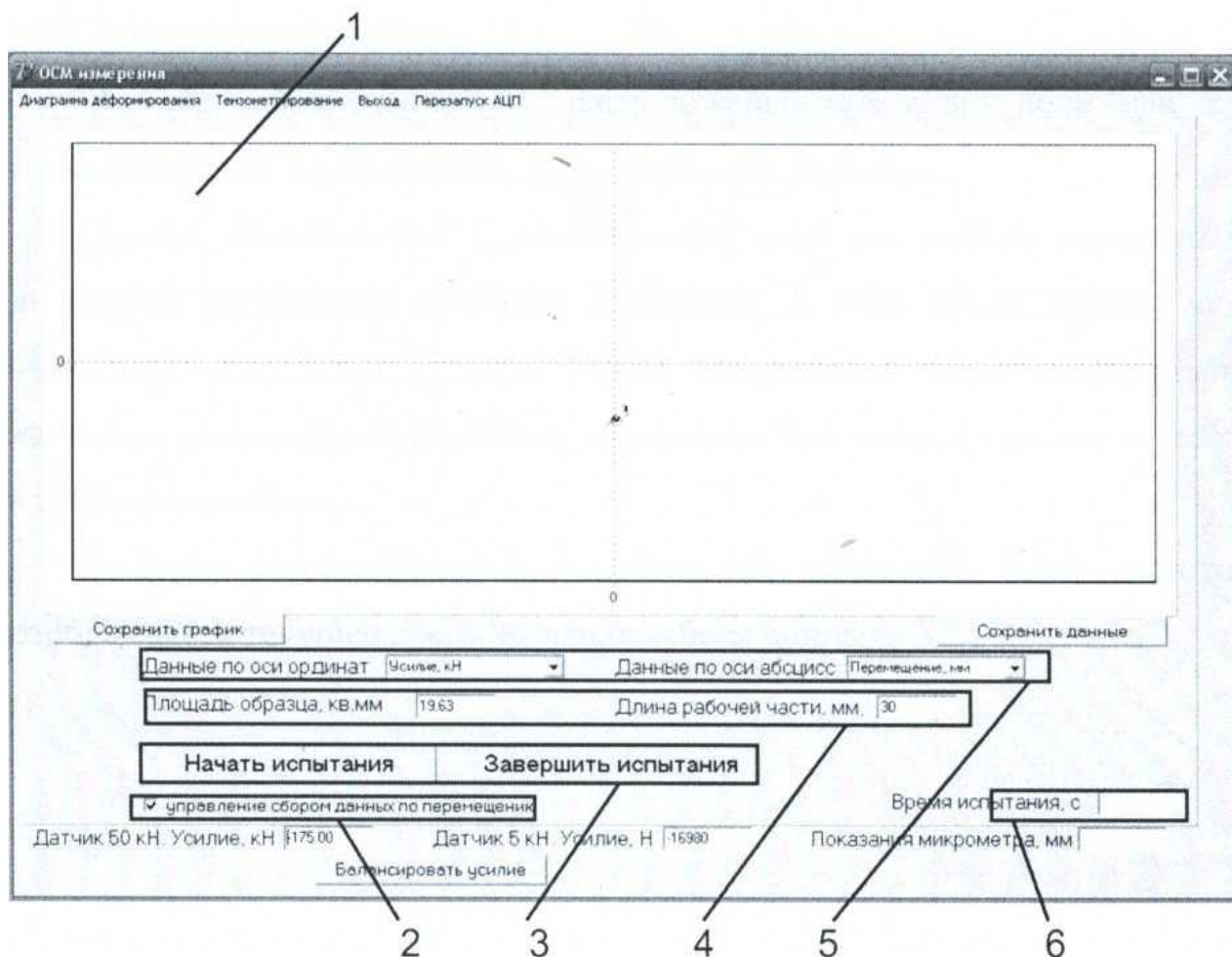
Сурет 1 - Бағдарламаның диалог- окносы

Бағдарламаны іске қосқанда экранда көрсетілген сурет 1 (окно) шығады.

Сурет 1(зона 1) негізгі бағдарлама көрсетілген, осы арқылы өлшеу түрін таңдауға болады. Зона 2 күш өлшегіштің (50 кН) ағымдағы мәні көрсетіледі, күш өлшегіш қосылмаса, онда күштің төменгі диапазоны көрсетіледі. Температуралық ауытқулардан күш көрсетуші датчиктің нөлі жүктеме жоқ кезде нөлден басқа болады. Күш көрсетуші датчикті тепе – теңдікке, яғни нөлге түсіру үшін (балансиловать) кнопка 3 басады. Зона 4 күш өлшегіштің (50 кН) ағымдағы мәнін көрсетеді, егер күш өлшегіш қосылмаса, онда күштің төменгі диапазоны көрсетіледі. Зона 5 микрометрлік индикатордың ағымдағы ПЭВМ - ге қосылатын мәндері көрсетіледі, егер ол өлшегіш – аударушы блокқа қосылса (измерительно – преобразовательный блокқа).

### Меню (мәзір) - «Деформациялану диаграммасы»

Аталған пунктті (кнопканы) ашқаннан кейін экранда сурет 2 көрсетілген окно (компьютердегі) пайда болады.



Сурет 2 - Диалог окносы: «Деформациялану диаграммасы»

Аймақ (Зона) 1- де (сурет 2) көрсеткендей график түрінде зертханалық сынау кезіндегі барлық көрсеткіштер жиналады. График түріндегі өрістің (поле) астында ақпаратты сурет түрінде сақтап қалатын кнопкалар орналасқан. Немесе графикті салуға болатын көрсеткіштер текст түріндегі файл ретінде берілген.

Аймақ (Зона) 2– де көрсеткіштер жиналатын флажок орналасады. Егер флажок -2 тұрса, онда сынақ кезінде ағымдағы нүкте диаграммаға қосылады, тек егер нүктенің орын ауыстыруы соңғы нүктеге қарағанда жоғары болса. Егер флажок 2 алынып тасталса, онда нүктелер диаграммаға тұрақты түрде (шамамен секундына 3 рет) нүктелер қосылады.

Аймақ (Зона) 3 –те сынау кезінде басқаратын кнопкалар орналасқан. «Сынақты баста» кнопкасын басқанда көрсеткіштерді жинақтау басталады. «Сынақты аяқта» кнопкасын басқанда көрсеткіштерді жинау аяқталады.

Аймақ (Зона) 4- те сыналатын үлгілердің геометриялық сипаттамалары орналасады.

Аймақ (Зона) 5 –те диаграммаға енгізілген сынау параметрлерін таңдау өрісі орналасады. Көрсеткіштерді жинау кезінде таңдалған өрісті өзгертуге болмайды. Көрсеткіштерді жинау аяқталғаннан кейін таңдалған параметрлерді өзгертуге болады, бірақ диаграмма басқа координаталарда қайтадан құрастырылады.

Аймақ (Зона) 6 – да көрсеткіштерді жинаудан бастап ағымдағы уақыттағы текст өрісі орналасады.

### ***Меню (мәзір) - «Тензометрлеуді жүргізу»***

Аталған менюді ашқаннан кейін экранда сурет 3 көрсетілген окно пайда болады.

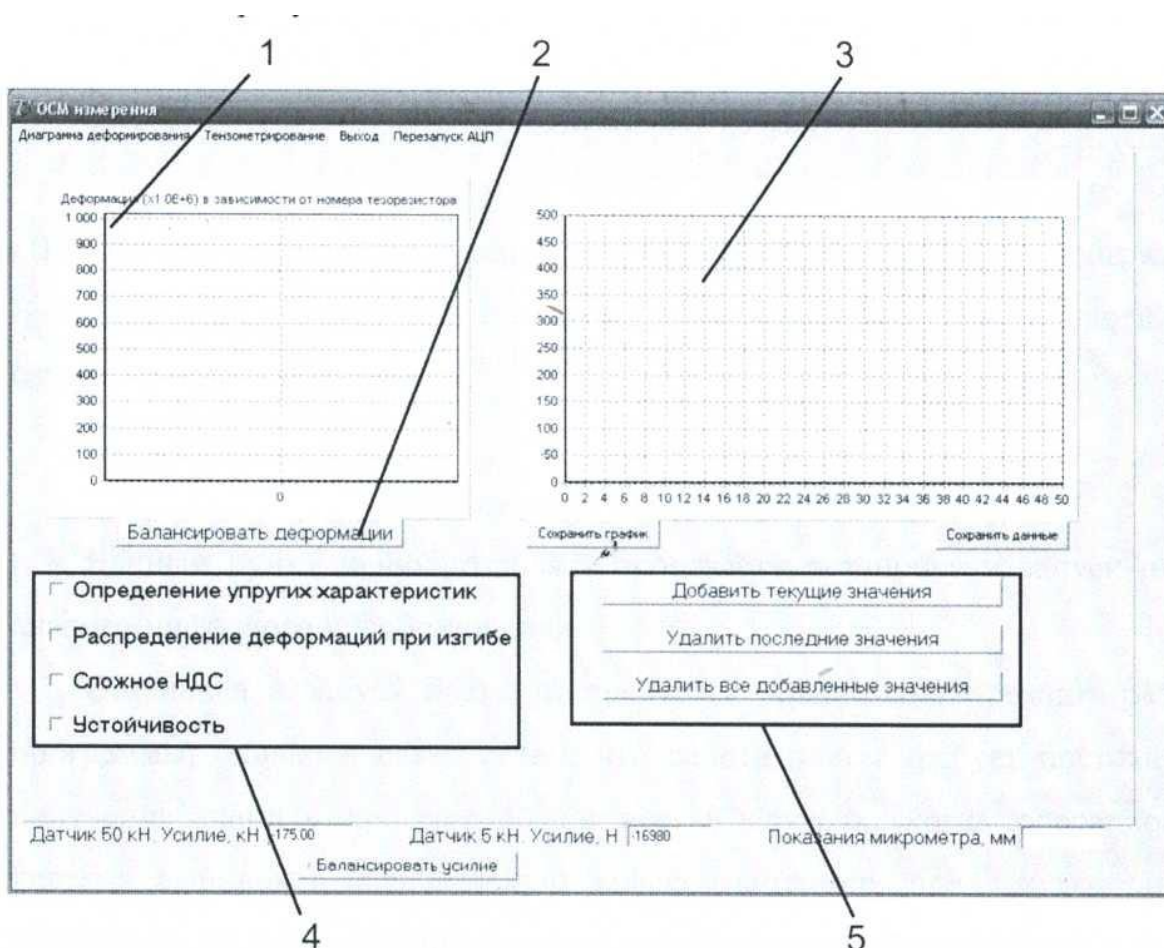
Аймақ (Зона)1 – де (сурет 3), тензорезистрлердің ағымдағы уақыттағы көрсеткіштерін жазып отыратын графикалық өрістер орналасады.

Аймақ (Зона) 2- де тензорезистрлардың көрсеткіштерін тепе – теңдікке, нөлге келтіретін (балансировкаға) кнопка орналасқан.

Аймақ (Зона) 3-те күштің және тензорезистрдің ағымдағы мәндерін көрсететін график түріндегі өріс орналасқан. Өрістің астында графикалық ақпаратты сурет немесе көрсеткіштер түрінде сақтайтын кнопкалар бар.

Графикалық өрістің ағымдағы көрсеткіштерінің мәндерін өріс 3 -ке қосу үшін 5 - ші зонада «добавить текущие значения» орналасқан кнопка бар. Соңғы мәндерді алып тастау үшін «удалить последние значения» кнопкасы бар. Кнопка «удалить все собранные значения» барлық жиналған көрсеткіштерді алып тастайды.

Аймақ (Зона) 4 – те сынақты таңдайтын флажоктар орналасқан.



Сурет 3 - Диалог окносы: «Тензометрлеу»

### **Меню (мэзір) - «Бағдарламадан шығу»**

Бағдарламадан шығу үшін жоғарғы меню пунктіндегі «выход» кнопкасын таңдап алу керек, сонда бағдарламадан шығу қажеттігін сұрайтын сұрақ шығады. Егер шығу қажет болса, кнопка «ок» басады – керек болмаған жағдайда кнопка «отмена» -ны басады.

### **Меню (мэзір) - «АЦП» қайтадан қосу.**

Бұл пункт «плата АЦП» (аналогово – цифровой преобразователь) бағдарламасын тоқтатып немесе қайтадан қосып жұмыс істеуге мүмкіндік береді.

Платаны тоқтатып немесе қайтадан қосу бағдарламасы кәдімгі режимде жұмыс істеп тұрғанда қажет болмайды, бірақ бағдарламадан тәжірибенің көрсеткіштерін тұрақты түрде алатын болғандықтан, және егер операциондық жүйе басқа паралелль жұмыс атқаратын болса (мысалы, басқа бағдарламаны қосқанда), бағдарлама мен плата арасында синхрондық жұмыс бұзылады. Нәтижесінде синхрондықтың бұзылуы бағдарламаның датчиктерімен АЦП датчиктерінің көрсеткіштерінің сәйкестігін болмауына әкеледі.

Сонымен, егер бағдарлама бойынша датчиктерімен стенде орналасқан платаның датчиктерінің арасында бір – біріне әлдеқайда алыақтық болса АЦП тоқтатып қайтадан қосуға тура келеді.



## 1.2. Зертханалық құрылғымен (стендпен) жұмыс істеудің жалпы тәртібі

1.2.1 ПЭВМ қосып, операциондық жүйенің толық жұмысқа қосылуын күту.

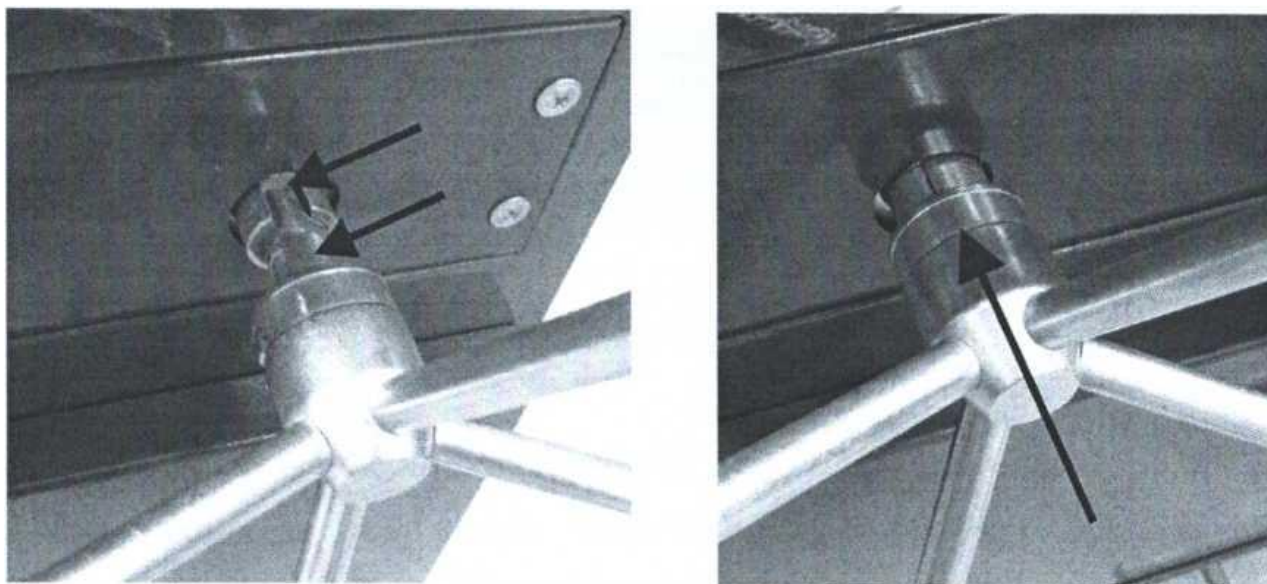
1.2.2 Стендтің күш түсіретін рамасына құралдарды және сынаққа түсетін үлгілерді зертханалық жұмыстың шартына байланысты орнатады.

1.2.3 Қолданатын күш өлшегішті, тензодатчиктерді және сандық көрсеткіштері бар микрометрді «өлшегіш – аударушы» («измерительно- преобразовательный») блоктың қосылатын клеммаларына қосады.

1.2.4 «Өлшегіш – аударушы блокты» ток көзіне блоктың сол жағында орналасқан кнопка арқылы қосады. Бұл кезде блоктағы цифрлік табло жануға тиіс.

1.2.5. ПЭВМ – ді «МКН өлшеу» (ОСМ - основы сопротивления материалов) бағдарламасына қосады.

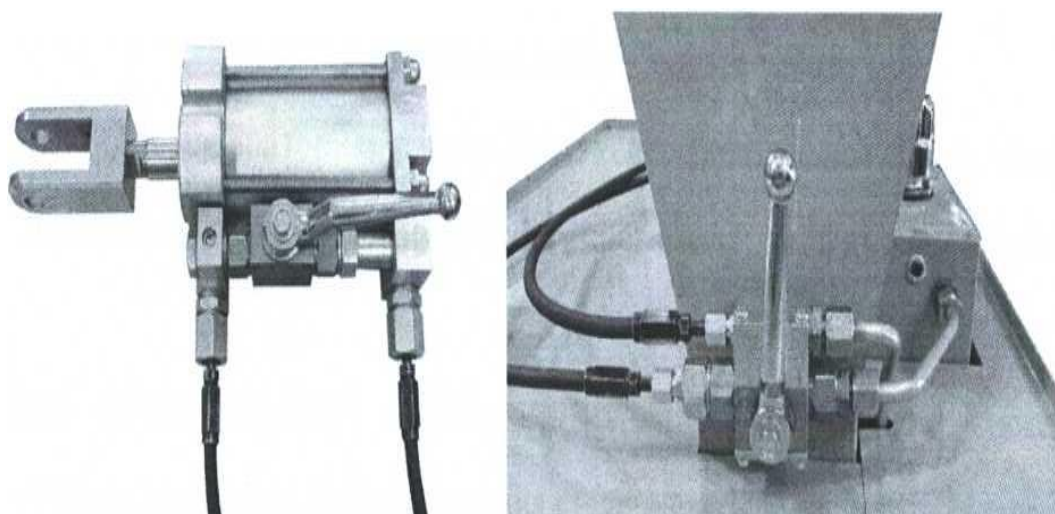
1.2.6 Зертханалық жұмыста гидроцилиндрді қолдану қажет болса, қол насосының тұтқасын жұмыс жағдайына қояды. Ол үшін тұтқаның вилкасымен насостың жұмыс істеуші механизмінің пазасына келтіреді және тұтқаны валға тірелгенше отырғызады (сурет 4).



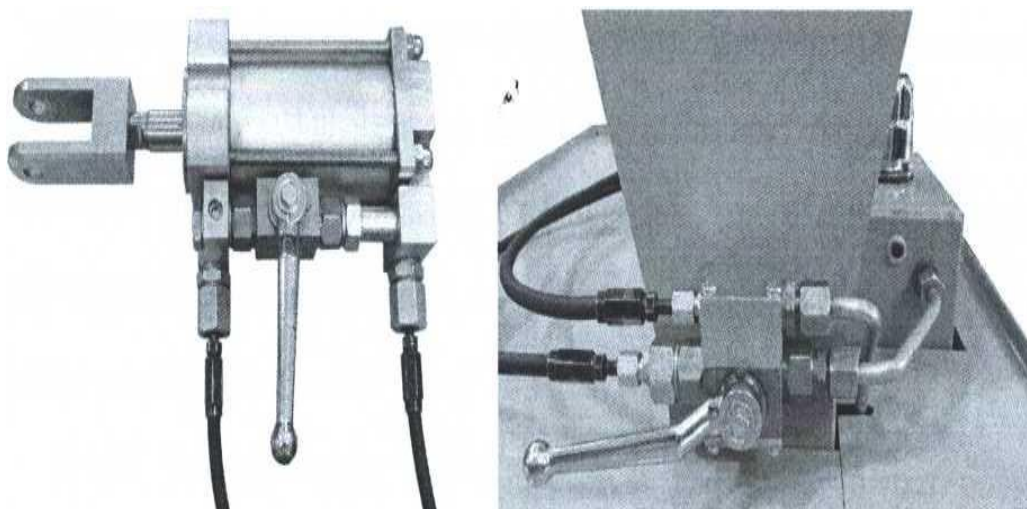
Сурет 4 - Қол насостың тұтқасын орнату

1.2.7 Насос станциясы былай жұмыс істейді: тұтқаны сағат тілі бағытымен айналдырса сұйық зат насоспен тартылады, ал тұтқаны сағат тіліне қарсы айналдырса сұйық зат насоспен гидроцилиндрге крандар арқылы қайтадан ағады. Тұтқаның соңғы айналымында плунжер корпусының бөлшектеріне тіреліп, оған қысым көбейеді. Сондықтан **қол насосымен жұмыс істегенде тұтқаға 50 Н артық күш түсіруге болмайды.**

1.2.8 Гидроцилиндрді жылжытатын (тура жүріс) сұйық заттың ағымын бағыттайтын крандарды сурет 5 көрсетілгендей орнату керек.



Сурет 5 - Гидроцилиндрдің тура жүрісінде крандарды орнату



Сурет 6 - Гидроцилиндрдің кері жүрісінде крандарды орнату

1.2.9 Гидроцилиндрді соратын режимдегі (кері жүріс) сұйық заттың ағымын бағыттау үшін крандарды сурет 6 көрсетілгендей орнату керек

1.2.10 Гидроцилиндрмен жұмысты біткеннен кейін крандарды сурет 5 7 көрсетілгендей орнатады және гидроцилиндрді күш түсіретін раманың артындағы орынға қояды.

## 2.1 Зертханалық жұмыс № 1

### Өлшеу құралдары

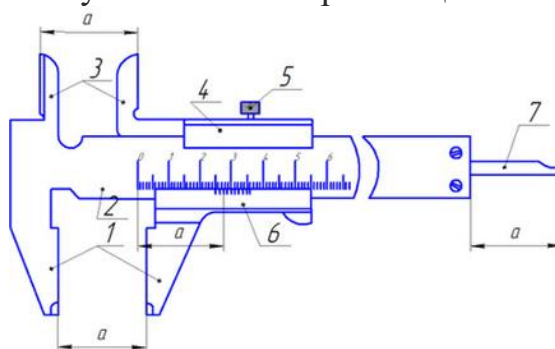
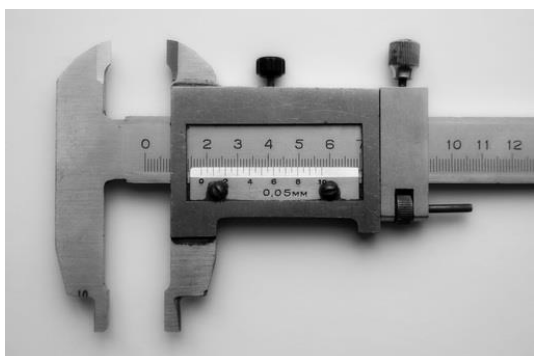
*Зертханалық жұмыстың мақсаты:* штангенциркуль, микрометр, сызықтық орын ауысуды өлшеу индикаторы, тензодатчиктер құрылыстарымен танысып, олармен жұмыс істеуді үйрену.

*Теориялық негіздер.*

**1.Штангенциркульдер** (ШЦ-1, ШЦ-II, ШЦ-III) ішкі және сыртқы мөлшерлерді, тереңдік пен биіктікті өлшеуге және мөлшерді белгілеу үшін қолданады. Зертханалық жұмыста өлшеу шегі 0-125 мм аралығындағы 0-500 мм штангенциркуль пайдаланады.

Өлшеу шегі 0-125 мм (сурет 7) штангенциркуль құрылысының құрамы: штангенциркуль екі губкадан (1 және 2) тұратын штангіден 2, штанганың бойымен қозғалатын осындай губкалары бар рамадан 4 тұрады.

Штангіде 2 өлшемі бір миллиметрлік 0-125 мм шкала бар, ал рамада дәлдігі 0,1-0,05 мм он бөлімнен тұратын нониус 6 шкаласы орналасқан.

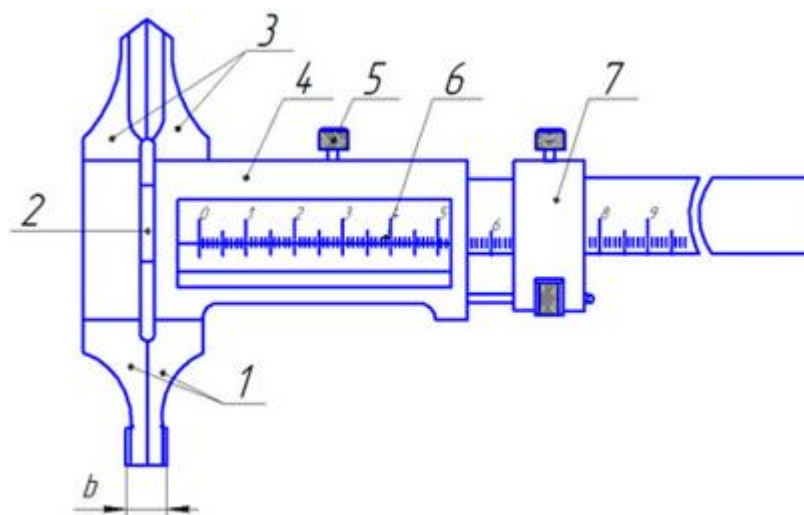


Сурет - 7 Штангенциркуль

Өлшенетін құрылғының (заттың) сыртқы мөлшерлері екі губканың 1 ара қашықтығымен ( $a$ ) өлшенеді, ал ішкі мөлшерлері - губкалардың сыртқы қырларымен 3 өлшенеді. Штангенциркульдің сыртында рамкаға 4 тереңдікті өлшейтін штанганың бойындағы жырақшамен (канавкамен) қозғалатын сызғыш 7 бекітілген. Рамка 4 штангаға тоқтатқыш (стопорлық) винтпен бекітілген 5, қажет болған жағдайда мөлшердің белгісін алу үшін.

Мөлшердің толық саны штанганың бойындағы нониустың нөлдік штрихымен алынады, ал миллиметрдің оннан бір бөлігі, нониус шкаласының штангеннің негізгі шкала штрихымен қосылған жері есептеледі.

Өлшеу шектері 0-300 мм дейінгі штангенциркульдің штангасындағы мөлшер шектері екі жақты губкалармен өлшенеді: губка 1 өлшеу үшін, ал губка 3 – белгі қалдыру үшін (сурет 8).

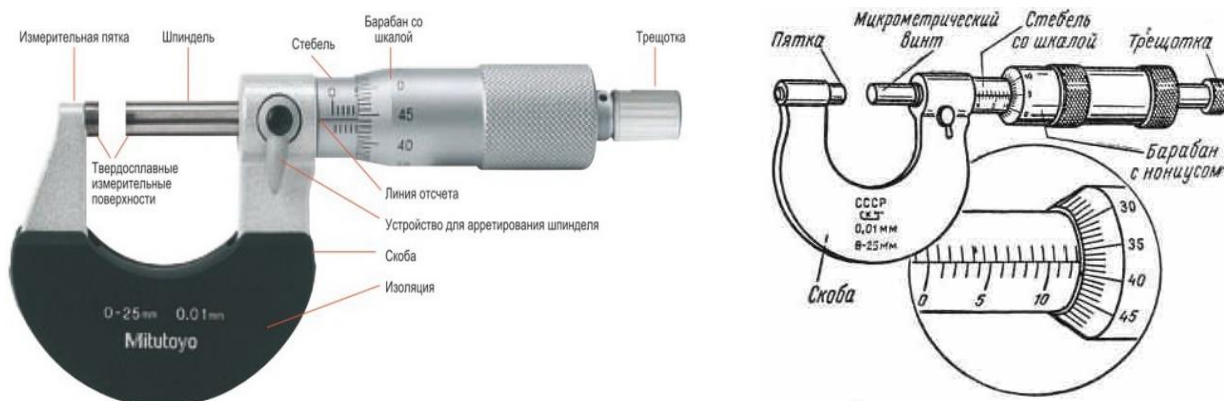


Сурет 8 - Штангенциркуль 0-300

Бұл штангенциркульдерге штангеге қосымша тіреуіш винті және арнаулы микрометрлік винт орнатылып, рамка 7 штанганың бойымен жылжытылып мөлшердің дәлдік шегін дәл қоюға болады. Нониус шкаласы 6 рамка 4 винтпен бекітілген жеке сызғышқа түсірілген, бұл нониусты штанганың бойымен реттеуге мүмкіндік береді. Бұл шкала 50 – ге бөлінген және сондықтан өлшеу дәлдігі 0,02 мм жетеді.

Өлшеуге келетін ең кіші ішкі мөлшер, екі қосылып тұрған сыртқы губкалардың арасы ( $v$ ), солардың маркировкасында көрсетілге. Ішкі мөлшерді өлшегенде нониустың есебіне ( $v$ ) қосу керек.

**2.Микрометрлер** 0,01 мм дәлдікпен сыртқы мөлшерлерді өлшеуге арналған.



Сурет 9 - Микрометр

Микрометр құрамы (сурет 9): скоба 1, оның бір жағында пятка 2, ал екінші жағында — гильза 5 бекітілген. Гильзаның ішінде барабанмен бірге 6 айналып тұратын микрометрлік винт 3 орналасқан. Гильзаның бойыда бойлық сызық (штрих) жән оған көлденең миллиметрлік сызықшалар (штрихтер)



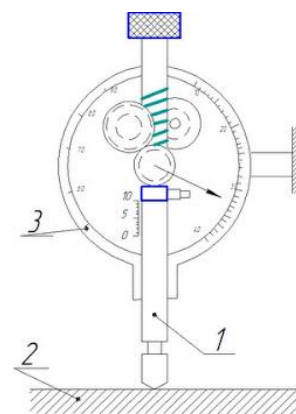
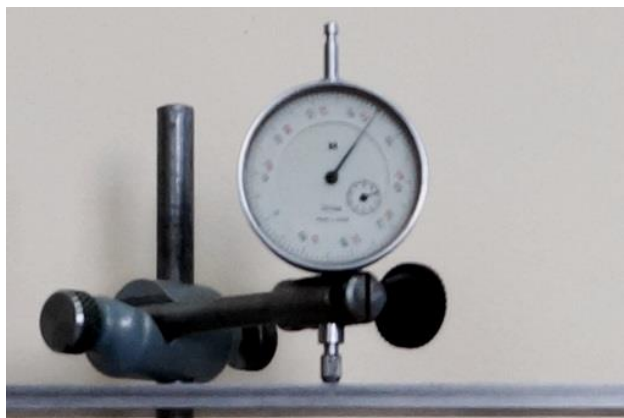
түсірілген. Бойлық сызықтан төмен қарай әрбір 5 мм сайын толық миллиметр есептеледі. Бойлық сызықтан жоғары қарай жүргізілген штрихтар төмендегі шкаланы тең екіге бөледі.

Барабан 6 конус түрінде аяқталған, оның шеңбері бойында бір – біріне тең 50 шкала бар. Микрометрлік винттің резьбасының қадамы 0,5 мм. Сондықтан барабан 6 бір айналғанда микрометрлік винт 3 және барабан гильзаның бойымен 0,5 мм –ге жылжиды. Ал барабанның конус жағындағы шкаласы барлық 50 бөлімді айналып өтеді. Сонда барабанның шкаласының бір өлшемі 0,1 мм болады.

Миллиметрдің 0,5 мм – ге дейінгі бөлігінің 1/100 бөлігі барабанның 6 конусты шетіндегі шкаламен есептеледі, егер бұл жақ шеттегі гильзаның 5 ең жақын төменгі көлденең штрихы болса. Егер барабанның 6 шетінде гильзаның жоғарғы көлденең штрихы тұрса, сурет 8 көрсетілгендей, онда барабан шкаласы көрсеткендей, миллиметрдің 1/100 бөлігіне 0,5 мм қосылады. Мысалы, сурет 9 – де микрометр 12,50 мм ұзындықты көрсетіп тұр

Микрометрдің бас жағын 7 айналдырғанда барабан бөлшек (деталь) винт пен пятканың белгілі қысыммен қысылып тұрады, содан кейін микрометрдің бас жағы 7 зырылдауықпен бұрылады. Бұл винт пен пятканың арасында бірқалыпты өлшеу қысымын ұстап тұруға мүмкіндік береді және бөлшекте пайда болуы мүмкін деформацияны болдырмауға, өлшеудің дәлдігін қамтамасыз етуге жағдай туғызады. Тоқтатқыш (стопорный) винт 4 микрометрлік винтті бекіту үшін қолданады.

### 3. Сызықтық орын ауысуды (смещение) өлшеуге арналған индикатор



Сурет 10 - Сызықтық орын ауысуды (смещение) өлшеуге арналған индикатор

Суретте 10 қарапайым жән құрастыруға жеңіл үлгінің сызықтық өлшемін ің өзгеруін көрсетуге арналған индикатор көрсетілген. Суретте 10 штифт 1 пружинамен жазық бетке 2 қысылады, беттің штифтке қарай қозғалысын өлшеу керек. Дөңгелек формалы индикатор тісті дөңгелектер жүйесімен және циферблатпен бекітілген қорабы 3 басқа арнайы штативпен ұсталып тұрады.

Пружины жазық беттің 2 қозғалысы штифт 1 –де жылжытады, ал ол тісті берілістер арқылы стрелкалар 4 және 5 айналдырады.

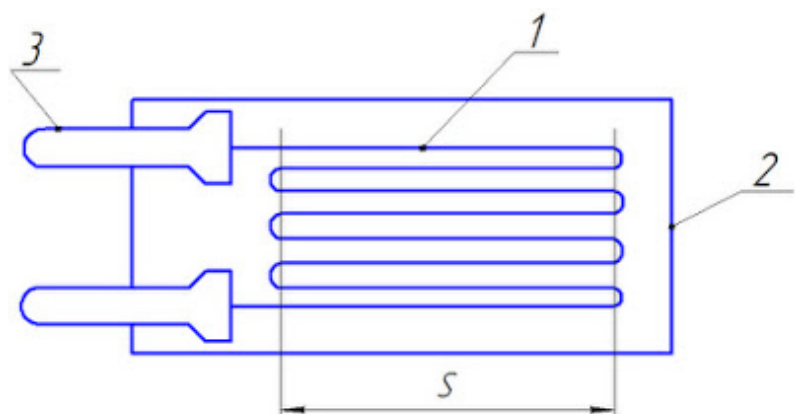
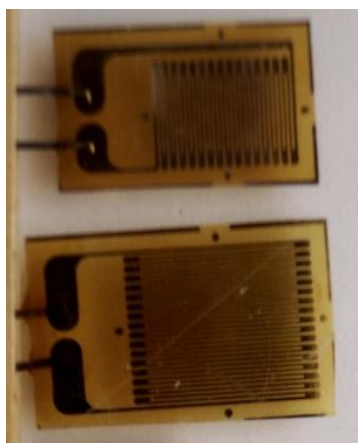
Стрелка 5 қозғалысымен штифтің миллиметрмен толық қозғалысы анықталады, ал миллиметрдің 0,1-0,001 бөліктері циферблаттағы стрелка 4 көрсетеді. Стрелканың толық бір айналымы 1 мм тең.

Циферблаттың бір өлшемі (одно деление) штифтің 0,01 мм қозғалысына тең, ал стрелканың толық бір айналымы штифтің 1 мм жылжуына (орын ауыстыруына) тең.

Индикатор тәжірибеде кеңінен қолданады. Айтылған индикаторға ұқсас бірақ дәлдігі өте жоғары 0,001 мм индикаторлар бар. Индикаторлар күрделі өлшеу құралдарының құрамында жиі қолданады, мысалы динамометр.

**4. Деформацияны электртензометрмен өлшеу.** Электртензометр екі бөлімнен тұрады. Біреуі сыналып жатқан үлгіге бекітіледі және деформацияны электр көрсеткішіне айналдырады. Екінші бөлігі датчиктен алыс орналасқан және электр сымдарымен жалғасып электр тогының өзгерістерін тіркейді.

Сыналатын үлгінің деформациясы электрдатчикпен қандай параметр өлшеуіне байланысты датчиктер индукциялық және көлемдік болып екіге бөлінеді.



Сурет 11 - Электртензометр

Әсіресе өте жиі қолданатын сымнан жасалған кедергі датчиктер. Мұндай датчиктер жедел жүретін деформациялық процесстерді (соқыдан, тербелістен т.б.) пайдалануға жеңіл. Мысалы, инерциясы бар механикалық және оптико – механикалық тензометрлерді мұндай жағдайда қолдануға болмайды.

Жоғарыда аталған тензодатчиктерді тек қана лабораториялық жағдайда үлгілердің деформациясын өлшеуге жағдай туғызбай, сонымен қатар машина бөлшектерінің және олардың элементтерінің деформациясын өндірісте де өлшеуге мүмкіндік береді.

Сымнан жасалған кедергі датчиктерінің өлшеу дәлдігі механикалық және оптико – механикалық тензометрлерге қарағанда төмен, бірақ олар кернеулерді есептеуге қолжетімді сенімді деп айтуға болады.

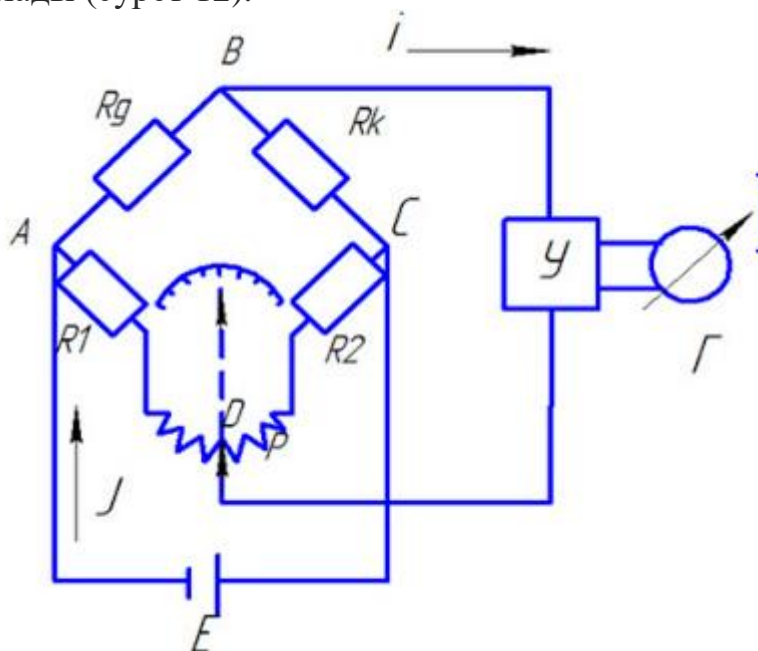
Сымнан жасалған кедергі датчиктер (сурет 11) өте жіңішке сымнан жасалады, әдетте (манганиновой или константановой) диаметрі 0,015—0,03 мм «ілімек» (петля) тәріздес, ұзындығы бірдей, жұқа (0,01мм) қағазға желімдеп қойған, қорғау мақсатында үстінен тағы да осындай жұқа қағазбен жабылған. Датчик соңынан үстінен арнайы клеймен жағылып (БФ-4), сыналатын үлгіні үстінен жауып қояды.

Датчикті монтаждау үшін кедергі сымдарынына мыстан жасалған қосу элементтерін 3 диаметрі 0,1-0,2 мм дәнекерлейді.

Петляның ұзындығы тензодатчиктің базасы деп аталады. Оның ұзындығын өзгерткенде кедергінің (Ом) шамасы өзгереді. Бұл үлгінің деформациясын сымның кедергісінің өзгеруімен өлшеуге болатынын көрсетеді. Қазіргі уақытта базасы 1-50 мм дейін датчиктер қолданады. Оларды жасауға константа (мыс пен никель қорытпасы) және нихром (никель, железа және хром қорытпасы) қолданады, датчктер кедергісі 10-500 Ом дейін болады. Деформацияны өлшеу үшін датчик сыналатын үлгіге желімделіп жапсырылады. Клейге қоятын талаптар: клей (желім) иілуге икемді (эластичный), беріктігі жоғары, сынбай түсетін күшті қабылдауға бейім болу керек.

*Сымдардың ұзындығын ұзартқанда немесе қысқартқанда тензодатчиктің кедергісі өзгереді. Мысалы, датчиктің сымдарының кедергісінің (Ом) өзгеруі оның базасының бағыты бойынша деформациясына пропорционал болады.*

Датчиктің кедергісінің өзгеруін өлшеу үшін, өлшеу нысанының деформациясының өзгеруіне байланысты, жұмысшы датчик  $R_g$  мост ABCD схемасына қосылады (сурет 12).



Сурет 12 - Уинстон мосты

Ток көзі  $E$  – ден мостың диагоналы  $AC$ - ға беріледі. Жұмысшы датчик  $R_g$  –нің кедергісі деформациядан және температурадан өзгеруі мүмкін.

Температураның өзгеруі мостың қарама – қарсы жағына (плечосына) әсерін тигізбеу үшін, тізбекке компенсациялық кедергі  $R_k$  қосылады. Оның параметрлері жұмысшы датчикпен бірдей, және сол материалдан жасалған сыналатын нысанға желімдеп қосылады.

Сонымен екі датчиктер де  $R_g$  и  $R_k$  бірдей температуралық жағдайда тұрады. Мостың температуралық балансы:

$$R_g \cdot R_2 = R_k \cdot R_1, \quad (1)$$

мұнда  $R_1$  – АД иығының кедергісі;  $R_2$  – СД иығының кедергісі.

Жұмысшы және компенсациялық датчиктердің қоршаған ортаның температурасы өзгергенде бірдей шамаға өзгертін болса, онда бұл өзгерістер жоғарыда көрсетілген теңдікті бұзбайды, сондықтан олар датчиктердің (прибордың) көрсетуіне әсер етпейді. Сынауудың алдында мосты балансқа келтіреді. Ол үшін реохорд  $P$  арқылы гальванометрдің стрелкасын нөлге түсіреді. (бұл жолы диагональ ВД – да ток жоқ).

Сынау кезінде жұмысшы датчиктің кедергісі, сыналатын үлгімен бірге деформацияға түетін, өзгереді (созғанда ұлғаяды, ал қысқанда кішірейеді), мостың балансы бұзылады. Диагональ ВД – да ток пайда болады. Сыналатын үлгінінің деформациясын өлшеу үшін мосты қайтадан балансқа келтіреді. Реохордтың қозғалу шамасына қарай  $\Delta R_g$  анықталады, яғни нысанның деформациясын

$$\varepsilon = \Delta R_g \cdot K, \quad (2)$$

мұнда  $K$  – прибордың өлшем бірлігі. Приборлар АИД-1,2, ИСД-3  $K=10^{-5}$ , для ИСД-70  $K=10^{-6}$ .

Бұл әдісті «нөльдік әдіс» деп атайды. Бұдан басқа да реохорд қолданбайтын әдістер де бар, онда деформацияны гальванометрдің көрсеткіші арқылы анықтайды. Айнымалы деформацияны өлшегенде электр сигналын (дабыл) қуатын көтергіштен осциллографқа беріліп жазылып алынады.

Тензодатчиктедің артықшылықтары:

- өлшеудің дәлдігі өте жоғары;
- датчиктің базасының аздығы, басқа өлшеу приборлары қолдануға қиын болғанда тензометрлерлі датчиктер өте ыңғайы;
- өлшеу процесін қашықтан жүргізуге болады;
- айнымалы деформацияларды қолдануға болатындығы;
- деформацияны өлшеуді бір уақытта датчиктің розеткасын пайдаланып бір нүктеде бірнеше бағытта жүргізуге болады (бас деформацияның шамасын анықтағанда қолданады).



## 2.2 Зертханалық жұмыс № 2

### Пластикалық материалдың созылу деформациясын тәжірибеде анықтау.

Жұмыстың мақсаты: материалдарды созуға сынау әдісімен танысу, болаттың немесе алюминийдің созылу деформациясын зерттеу, материалдардың созылу кезіндегі механикалық қасиеттерін анықтау.

#### Теориялық негіздер.

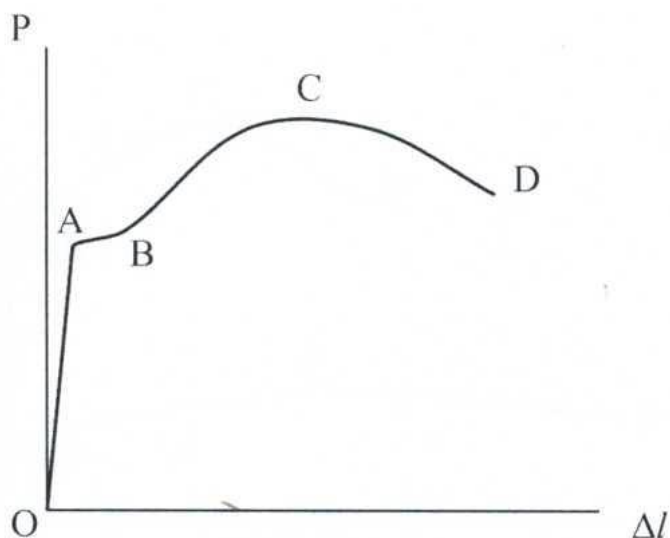
Созуға сынау үшін сымнан немесе темірден (қаңылтырдан) қиылып жасалған арнайы үлгілер қоладанады. Үлгілердің негізгі ерекшелігі – оларды стендке бекіту үшін бас жағында қалыңдатып күшейтілген бекітпенің болуы және үлгінің салыстырмалы жіңішкерген жұмысшы бөлігіне баяу ауысуы.

Үлгінің жұмысшы бөлігінің ұзындығы  $l_{раб}$  оның диаметрінен ( $d$ ) 15 есе үлкен болуы керек. Аталған үлгіден басқа қысқа да үлгі болуы мүмкін, мысалы  $l_{раб}/d$  беске тең. Сынақтың неізгі мақсаты – үлгіге түсіп тұрған күшпен оның деформациясының арасындағы тәуелділікті сипаттайтын созылу диаграммасын сызу.

Сурет 13  $P-\Delta l$  координатасында салынған көміртекті болаттың типтік диаграммасы келтірілген. Диаграмманы шартты түрде келесідей төрт аймаққа (зонаға) бөлуге болады.

$OA$  аймағы (зонасы) серпімділік аймағы деп аталады. Бұл аймақта материал Гук заңына бағынады:

$$\Delta l = \frac{Pl}{EA} \quad (3)$$

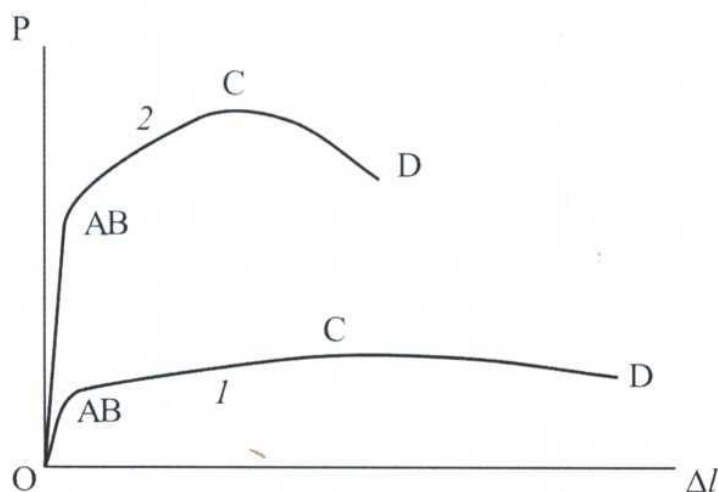


Сурет 13 - Көміртегі аз болаттың созылу диаграммасы

Сурет 13 –те бұл аймақты жақсы бейнелеу үшін масштабтан тыс көрсетілген.  $OA$  аймағындағы  $\Delta l$  учаскесінің ұзаруы өте аз. Сондықтан  $OA$

түзуі ордината өсімен сәйкес келеді. Гук заңына бағынатын күштің шамасы үлгінің мөлшерлеріне және материалдың физикалық қасиеттеріне тәуелді. Әсіресе жоғарғы сапалы болаттар үшін оның маңызы өте маңызды. Ал мыс, алюминий, қорғасын сияқты материалдар үшін оның мәні бірнеше есе төмен.

АВ аймағы *аққыштық* аймағы деп аталады, ал диаграмманың АВ учаскесі *аққыштық алаңы* (площадка текучести) деп аталады. Бұл жерде сыртқы күш – жүктеме аздап қана өскенмен, үлгінің ұзындығы айтарлықтай өседі. Аққыштық алаңы АВ болуы металдар үшін міндетті емес. Көптеген жағдайда үлгілер созылғанда немесе сығылғанда АВ алаңы болмайды, ал үлгінің созылу диаграммасы сурет 14 көрсетілген қисық сызықтарға ұқсайды. Қисық сызық 1- алюминий мен жұмсартылған мысты, ал сызық 2 жоғарғы сапалы легирленген болаттың деформациясын сипаттайды.

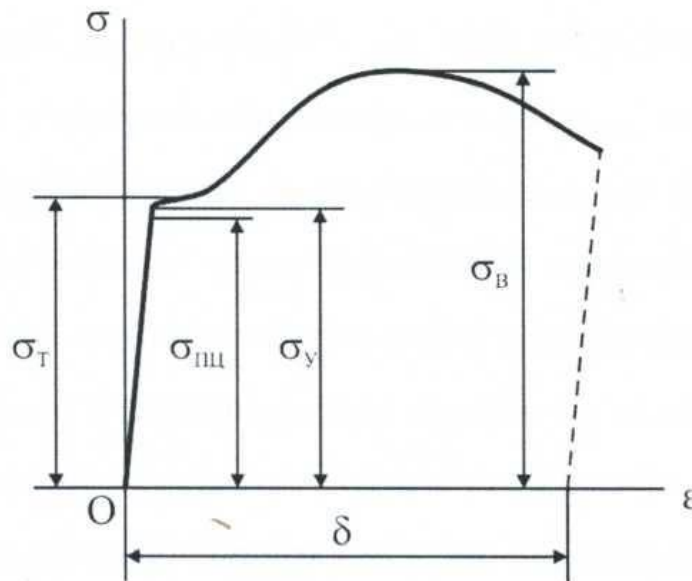


Сурет 14 - Мыстың (1) және легирленген болаттың (2) деформациялану диаграммалары

BC аймағы *қатаю* аймағы деп аталады. Бұл жерде үлгінің ұзаруы жүктеменің өсуімен қатар жүреді, бірақ бұл үрдіс серпімділік аймағына қарағанда өте аз (жүз есе де болады) жүреді. Қатаю кезеңінде үлгінің бойында болашақ үзілетін жердің белгісі – *жіңішкеру (шейка- мойын)* пайда бола бастайды. Үлгіні созу барысында үлгінің жіңішке мойны әрі қарай жіңішкеріп,  $P$  күші максималды мәніне жетеді (C нүктесінде). Әрі қарай үлгінің ұзаруы  $P$  күшінің азаюымен қатар, бірақ үзілетін *мойынның* көлденең қимасындағы кернеу ұлғая түседі. Үлгінің ұзаруы бұл жолы жергілікті (үзілетін жерде) болғандықтан CD қисық сызығының бұл бөлігі *жергілікті аққыштық аймағы* деп аталады. D нүктесі үлгінің үзілу (сыну) нүктесі болып табылады. Көптеген материалдарда үлгінің үзілуі *жіңішкеру мойны* пайда болмай – ақ үзіледі (сынады).

Материалдың аталған қасиеттерінің сандық шамасын бағалау үшін созылу диаграммасын –  $(P-P(\Delta l))$   $\sigma$  және  $\epsilon$  координатасына ауыстырайық. Ол үшін ординатаны  $A$  есе, ал абциссаны  $l$  есе кішірейту керек. Мұнда  $A$  және  $l$  –

үлгінің көлденең қимасының ауданы және үлгінің жүктеме түскенге дейінгі ұзындығы. Үлгінің аталған ауданы мен ұзындығы тұрақты болғандықтан диаграмма  $\sigma = P(\epsilon)$  (сурет 15) созылу диаграммасын сипаттайды. Бірақ ол үлгінің қасиеті емес материалдың қасиетін сипаттайды.



Сурет 15 - Деформация диаграммасы (кернеу - деформация)

*Материалдың Гук заңына дейінгі бағынатын ең үлкен кернеуін пропорционалдық шек деп атайды  $\sigma_{\text{пц}}$ .*

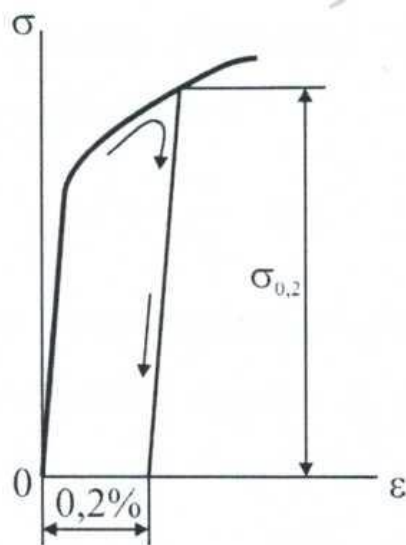
Пропорционалдық шектің шамасы диаграмманың бастапқы учаскесі қаншалықты түзу сызық болуына байланысты.  $\sigma = P(\epsilon)$  қисық сызықтың  $\sigma = E\epsilon$  түзуінен қаншалықты ауытқуын жанама сызықтың диаграмма мен ось  $\sigma$  арасындағы бұрышқа байланысты. Гук заңы аясында аталған бұрыштың тангенсі  $1/E$  шамасымен анықталады. Әдетте былай деп есептеледі: егер  $d\epsilon/d\sigma$  шамасы  $1/E$  шамасынан 50% жоғары болса, онда пропорционалдық шек өз дәрежесіне жеткенін сипаттайды.

Материалдардың серпімділік қасиеттері серпімділік шегі кернеуіне дейін сақталады. *Серпімділік шегі  $\sigma_y$  деп материалда қалдық деформация сақталмайтын ең үлкен кернеуді айтады.* Серпімділік шегін табу үшін үлгіні әрбір жүктемеден кейін босатып қалдық деформация барма жоқпа өлшеп, қадағалап біледі. Әдетте, серпімділік шегіне сәйкес қалдық деформацияны  $\epsilon_{\text{ост}} = (1 \div 5) \cdot 10^{-5}$  деп қабылдайды яғни 0,0001 ÷ 0,005%. Осы көрсетілген дәлдік шекке сәйкес серпімділік шегі  $\sigma_{0,001}$  немесе  $\sigma_{0,005}$  деп белгіленеді.

Серпімділік шекті және пропорционалдық шекті анықтау өте қиын және олар өздерінің мәнін жанама сызықпен қалдық деформацияның арасындағы бұрышқа байланысты күрт өзгертеді. Сондықтан  $\sigma_{\text{пц}}$  және  $\sigma_y$  мәндері материалдағы қасиеттері туралы анықтама кестелерінде берілмейді.

*Материалдың аққыштық шегі деп үлгіге түсіп тұрған жүктеме айтарлықтай өспей тұрғанда материалдың деформациясының өсуін*

көрсететін кернеуді айтады. Егер диаграммада анық аққыштық шегі байқалмаса, онда аққыштық шегіне қалдық деформация тең  $\varepsilon_{0,02} = 0,002$  немесе 0,2% (сурет 16) кернеудің мәні алынады. Кейбір жағдайларда қалдық деформация  $\varepsilon_{0,02} = 0,5\%$  деп алынады.



Сурет 16 - Шартты аққыштық шекті анықтау.

Шартты аққыштық шек қалдық деформацияның мәніне байланысты  $\sigma_{0,2}$  және  $\sigma_{0,5}$  деп белгіленеді. Аққыштық шекті оңай анықтауға болады және ол материалдың негізгі механикалық сипаттамалына жатады.

*Сынау кезінде үзілмей (сынбай) көтере алатын ең үлкен күштің үлгінің көлденең қимасының ауданына қатынасы беріктік шек немесе материалдың уақытша қарсыласуы деп аталады, ол  $\sigma_{ВР}$  деп белгіленеді*

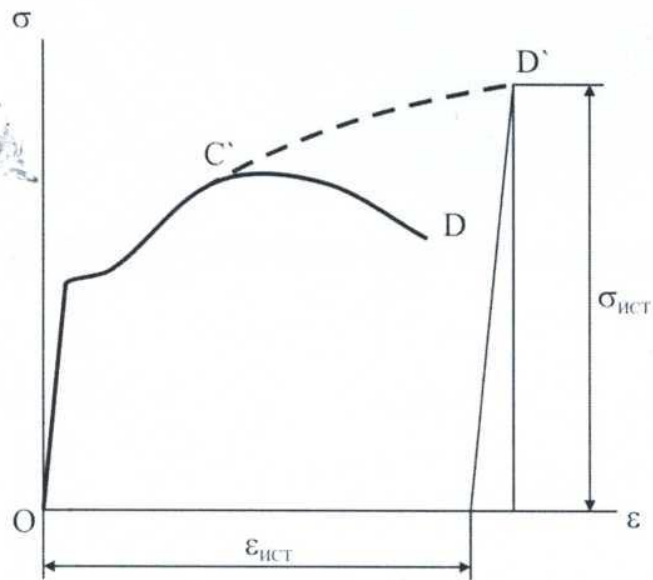
Уақытша қарсыласуға беріктік  $\sigma_{ВР}$  үлгінің үзілетін жүктемесіне жатпайды. Егер созу күшін үлгінің алғашқы көлденең қимасының ауданына емес оның жіңішкерген қимасының ауданына бөлсек, онда жіңішкерген жердегі орташа кернеу  $\sigma_{ВР}$  әлдеқайда жоғары. Сондықтан беріктік шегі де шартты шама деп айтуға болады.

*Үлгінің үзіліп сынуы  $\delta\%$  орташа қалдық деформацияның мәні болып табылады, ол стандартты үлгінің үзілу кезінде пайда болады.  $\delta\%$  анықтау төменгідей жүргізіледі.*

Үлгіні сынаудың алдында оған  $l_0 = 10d$  немесе  $l_0 = 5d$  қашықтықта екі белгі (риски) салынады. Үлгі сынғаннан кейін оның екі бөлігі бір – біріне өс бойымен қатты қосылып оның бетіндегі белгілерін өлшеп, үлгінің стандартты ұзындығы бойынша орташа ұзаруын  $\Delta l_0$  анықтайды. Үлгінің үзілудегі ұзаруы келесідей болады:

$$\delta\% = \frac{\Delta l_0}{l_0} \cdot 100 \quad (4)$$

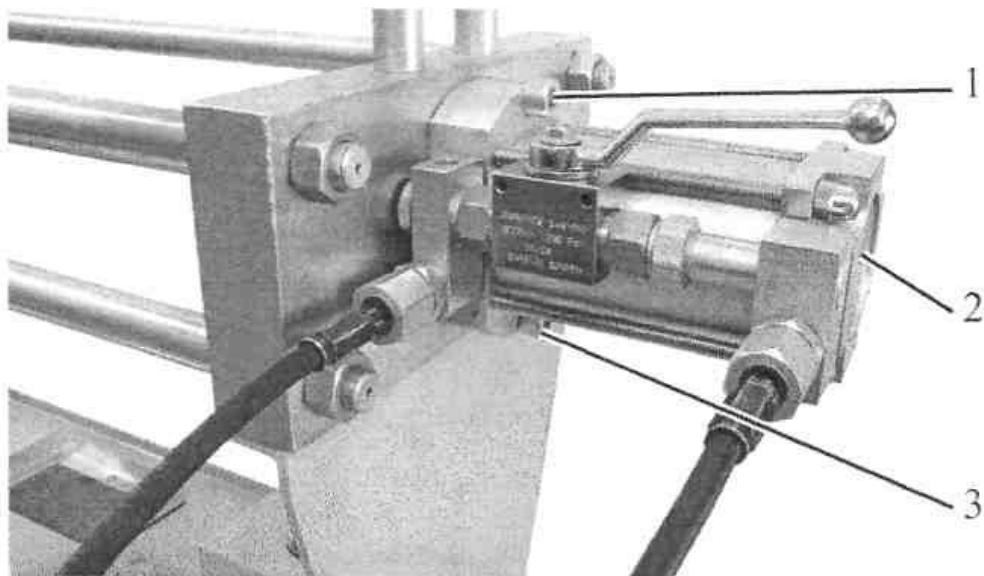
Үлгінің көлденең қимасының ауданының азаюын А және жергілікті деформациясының ұлғаюын ескере отырып, оның созылу диаграммасын *нақты созылу диаграммасы* деп атайды (ОС'D' қисығы сурет 17).



Сурет 17 – Нақты созылу диаграммасы

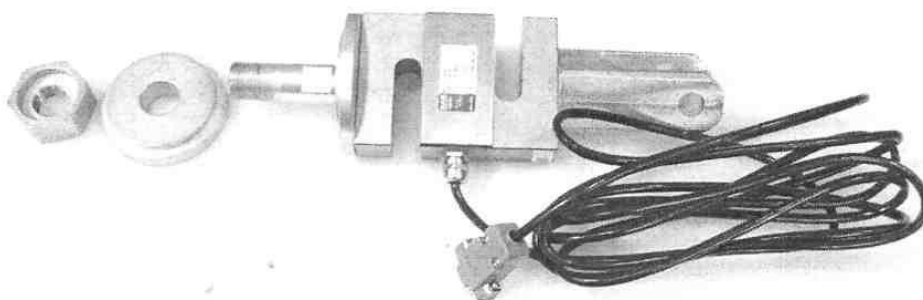
*Тәжірибелік бөлім.*

1. Гидроцилиндр 2 күш түсіретін рамаға орнатылады (сурет 18). Ол үшін цилиндрлік басты екі М10 1 және 3 винттерді және гайканы (алтықырлы) бұрап қатайтады.

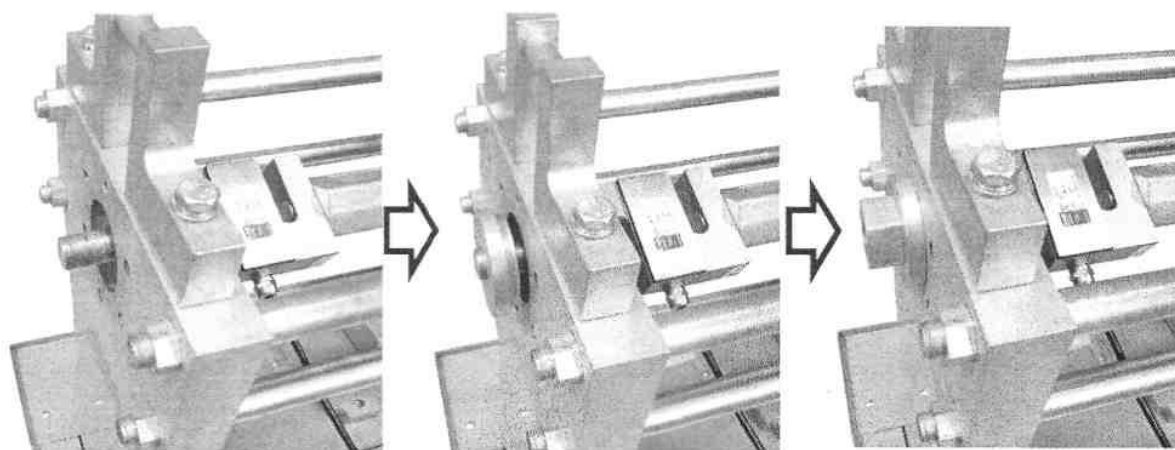


Сурет 18 – Гидроцилиндрді орнату

2. 50 кН күш өлшегішті бекітпесімен (сурет 19) күш түсіретін рамаға (сурет 20) орнатады. Рамаға бұрап орнату және қысу қолмен жүргізіледі. Гайка бұраушы кілттің қажеті жоқ.



Сурет 19 – 50 кН күш өлшегіш бекітпе



Сурет 20 – 50 кН күш өлшегішті құрастыру (монтаж)

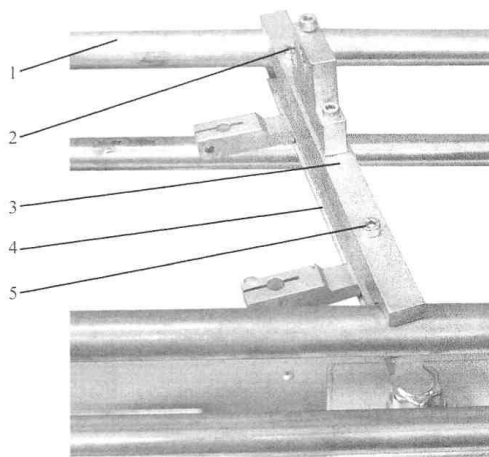
3. Үлгінің диаметрін  $d$  және оның жұмысшы бөлігінің ұзындығын  $l$   $A_0$ , көлденең қимасының ауданын  $A_0$  есептеп, кесте 1 жазу керек. Маркермен немесе штангенциркульмен үлгінің жұмысшы бөлігіне  $l_0 = 5d$  қашықтықта екі белгі қою керек.

4. Үлгіні резьбалы бекітпеге орнату (сурет 21)



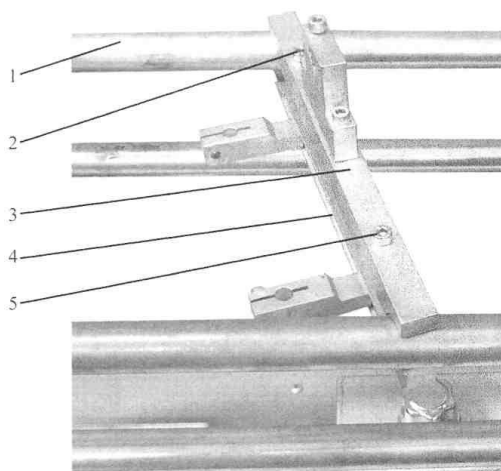
Сурет 21 – Резьбалы бекітпелі үлгі

5. Микрометрлерді бекітетін модульді бағыттаушыға орнату (сурет 22). Ол үшін винттер 2 және 5 жайлап босату керек (толық босатудың қажеті жоқ). Бұл кезде 3 және 4 пластиналар арасында саңлау ашылады, содан кейін винттерді бағыттаушыға 1 қысып орнатады. Пластиналар 3 және 4 орнатқаннан кейін бағыттаушыға 1 перпендикуляр етіп винттер 2 және 5 бұрап орнатады.



Сурет 22 – Микрометрдің бекітпесін орнату

6. Үлгіні бекітпесімен 2 күш өлшегішке және гидроцилиндрге 8 (сурет 23) палецтер 1 және 7 арқылы орнату. Бекітпелі үлгіні орнату үшін алдымен микрометрдің бекітпесін күш өлшегішке палец 1 арқылы орнатады. Содан кейін насос арқылы гидроцилиндрі палец 7 орнататындай етіп жылжытады. Насоспен жұмыс істеу 6-8 пп. Жазылған. Электронды клеммасы бар микрометр 3 микрометр 6 бекітпесіне орнатып, оны винт 4 бекіту қажет. Микрометр 6 бекітпесін жылжытып, оның аяғын 9-11 мм түсіріп, тірекке 5 тіреліп тұрады. Қажет болса гидроцилиндрдің 8 вилкасын бұрап, тірек 5 микрометрдің өсіне сәйкестендіру керек. Сонымен қатар гидроцилиндрдың вилкасы палецтің веритикаль жағдайына сәйкес болуға тиіс. Бұл бектпенің үлгі сынғаннан кейін құлап түспеуін қамтамасыз етеді.



Сурет 23 – Зертханалық жұмысты жүргізуге арналған стендті құрастыру.

Гидроцилиндрдің вилкасын сағат тілінің бағытымен айналдырады, вилка жағынан қарағанда

7. 50 кН күш өлшегіштің және микрометрдің тоққа қосылатын клеммаларын өлшегіш – аударушы блокқа қосады.

8. 3-5 пп . орындайды.

9. Бағдарламада «Диаграмма деформирования» деген менюді таңдайды.

10. Бағдарламаға үлгінің геометриялық сипаттамаларын енгіземіз  $A_0$  және үлгінің жұмысшы бөлігінің ұзындығын  $l$ .

11. Тұтқаны сағат тілімен айнадырып сұйықты насосқа сорғызып аламыз.

12. Гидроцилиндрдің краннын сорғызу үрдісіне қою.

13. Микрометрді кнопка «zero» аз уақыт басып нөлге «0» келтіреміз. .

14. Кнопка «начать испытание» басып, тәжірибенің көрсеткіштерін жазып алу. Тәжірибенің ұзақтығы 30 мин. Аспайды, содан кейін көрсеткіштерді жинақтау тоқтатылады.

15. Гидроцилиндрдің тұтқасын сағат тіліне қарсы айналдырады, сол кезде гидроцилиндр штокты тартып алады, үлгі созылады.

16. Үлгі үзіліп сынғаннан кейін кнопка «завершить испытание» басып тоқтатады.

17. Диаграмманы және файлдарды тәжірибенің көрсеткіштерін жазып алу ( есеп жазу) үшін сақтап қалады.

18. Резьбалы бекітпелерді босатып, үлгінің сынған бөліктерін босатады.

19. Гидроцилиндрді бөлшектейді (демонтаж жасайды), күш өлшегіш, кронштейн, микрометрді орындарынан алып қайтадан жәшіктеріне салады және стендке қояды. Энергия көздерін тоқтан алып, программадан шығады.

20. Барлық өлшем жүргізу жұмыстарын және есептеу нәтижелерін кесте 1 толтырады.

21. Үлгінің ең жіңішке жерінің диаметрін  $d_K$  өлшеп, көлденең қимасының ауданын  $A_K$  есептеп шығарады.

22. Үлгіні ось бойымен қайтадан құрастырып, оның бетіндегі қойылған белгілердің арасын  $l_K$  өлшейді.

23. Үлгінің ұзындығының салыстырмалы өзгеруін  $\delta = (l_K - l_0)/l_0$  және салыстырмалы жіңішкеруін есептеп шығарады.

24. Күш – орын ауыстыру (деформация) диаграммасы бойынша үлгіні үзу кезіндегі күшті анықтайды  $P_K$ . Нақты үзу кернеуін есептеп шығарады:  $\sigma_{ист} = P_K / A_K$ .

25. Кернеу – деформация диаграммасы бойынша уақытша қарсыласу кернеуін  $\sigma_{вр}$  және аққыштық шегін – физикалық  $\sigma_T$  немесе шартты  $\sigma_{0,2}$  анықтайды.

26. Пластикалық материалдардың созу кезіндегі жұмысына сипаттама беріп, материалдың қайтарымды (серпімді) деформациясына, қалдық деформациясына, деформациясы тұрақсыз, үлгінің үзілуіне әкелетін учаскелеріне қортынды жасайды.



Кесте 1 - Сынақ хаттамасы

$l$ , мм				
$l_0$ , мм		$\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0}, \%$		
$l_K$ , мм				
$d$ , мм		$A_0 = \frac{\pi d^2}{4}, \text{мм}^2$	$\psi = \frac{A_0 - A_K}{A_0}, \%$	
$d_K$ , мм		$A_K = \frac{\pi d_K^2}{4}, \text{мм}^2$		
$P_K$ , Н			$\sigma_{\text{ист}} = P_K / A_K, \text{Мпа}$	
$\sigma_B$ , Мпа				
$\sigma_T$ ( $\sigma_{0,2}$ ), Мпа				

**Зертханалық жұмысқа мысалдар мен есептер**

**Мысал.** Полиспаст механизмінің болат шынжыры шахта трансформаторын көтергенде 1Т (тонна) жүк салмақ көтереді. Шынжырдың беріктік қоры (запас прочности) коэффициенті – 4. Табу керек: егер шынжыр беріктік шегі 80 кГ/мм<sup>2</sup> болса, шынжырдың бір звеносының диаметрі қанша болады.

	Берілді:	Шешімі:
	$F=N = 1\text{Т}$ $n_B = 4$ $\sigma_{\text{вр}} = 80 \text{ кГ/мм}^2$	<p>Мүмкін кернеу</p> $[\sigma_{\text{соз}}] = \frac{\sigma_{\text{вр}}}{n_B} = \frac{80}{4} = 20 \text{ кГ/мм}^2$ <p>Шынжырдың бір звеносының көлденең қимасының ауданы:</p> $A = \frac{N}{[\sigma_{\text{соз}}]} = \frac{1000}{20} = 50 \text{ мм}^2$ <p>Шынжырдың звеносының диаметрі:</p> $d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50}{3.14}} = 5,65 \text{ мм,}$ <p>Жауап: 5,65 мм</p>

**Есептер**

1. Қырғыш шынжырдың (скребковая цепь) звеноларының элементінің диаметрі қандай болады, егер оған 2Т созылу күші түсетін болса, ал беріктік қоры қамтамасыз ету коэффициенті 6 тең. Шынжыр жасаған болаттың беріктік шегі – 70 кГ/мм<sup>2</sup>.

Жауап: 10,5 мм

2. Қырғыш конвейердің звеноларының көлденең қимасының ауданы  $200 \text{ мм}^2$  және беріктік шегі  $60 \text{ кГ/мм}^2$  болаттан жасалған. Жүк түскенде конвейерға  $1200 \text{ кГ}$  созу күші әсер етеді. Табу керек: конвейердің звенолары қандай беріктік қор коэффициентімен жұмыс істейді.

Жауап: 10



3. Анықтау керек: жүк көтеретінші канаттың көлденең қимасының ауданын, егер оның ең үлкен көтеретін жүктемесі  $16\text{T}$ . Және беріктік қор коэффициенті  $10$  – ға тең болса. Канат беріктік шегі  $170 \text{ кГ/мм}^2$  болат сымдардан жасалған

Жауап :  $941 \text{ мм}^2$



4. Табу керек: шахта терриконында жүк тартушы болат канат шығыр (лебедка) қандай жүктемемен жұмыс істейді, егер канаттың көлденең қимасының ауданы  $150 \text{ мм}^2$ , канаттың беріктік қор коэффициенті –  $5$ , ал оның беріктік шегі  $120 \text{ кГ/мм}^2$  болса.



Террикон - пайдалы қазба (көмір) шығарғанда бірге шығарылатын жарамсыз порода (жыныс), олар шахтаның жанында тау болып үйіліп жатады (суретте көрсетілгендей).

Жауап :  $3600 \text{ кГ}$

5. Болат канат көлденең қимасы  $100 \text{ мм}^2$   $1,5\text{T}$  созылу күші әсер етіп тұр. Табу керек канаттың беріктік қор коэффициентін, егер трос жасалған болаттың беріктік шегі  $80 \text{ кГ/мм}^2$ .

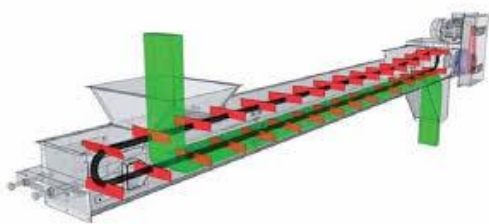
Жауап: 6,7



6. Болаттан жасалған шынжыр қырғыштың (суретте көрсетілген) беріктік шегін табу керек, егер шынжырдың звеносының диаметрі  $20 \text{ мм}$ , шынжырға түсетін созылу күші  $0,8\text{T}$ , беріктік қор коэффициенті  $5$ - ке тең.

Жауап:  $1274 \text{ кГ/см}^2$

7. Қырғыш конвейердің (суретте көрсетілген) шынжырының звеносының көлденең қимасының ауданы  $120 \text{ мм}^2$ . Шынжыр беріктік шегі  $80 \text{ кГ/мм}^2$  болаттан жасалған, оған  $1100 \text{ кГ}$  жүктеме түседі. Табу керек шынжырдың беріктік қор коэффициентін және оның үзілу күшінің шамасын.



Жауап: 8,7; 9600кГ



8. Жүк көтергіш канат, көлденең қимасының ауданы  $900 \text{ мм}^2$ , ұзындығы  $300 \text{ м}$ ., серпімділік модулі  $2 \cdot 10^6 \text{ кГ/см}^2$  конструкциялық болаттан жасалған. Табу керек канаттың абсолюттік ұзаруын, егер клетьті (суретте көрсетілген) әрқайсысының салмағы  $1,5 \text{ Т}$ ,  $4$  вагонеткамен жүктесе.

Жауап: 10 см

9. Болаттың серпімділік модулін анықтау керек, егер осыдан жасалған канаттың көлденең қимасының ауданы  $800 \text{ мм}^2$ , ұзындығы  $200 \text{ м}$ .  $5 \text{ Т}$  жүктеме түскенде оның абсолюттік ұзаруы  $6 \text{ см}$  болса.

Жауап:  $2,08 \cdot 10^6 \text{ кГ/см}^2$



10. Шығырға оралған ұзындығы  $240 \text{ м}$  канат, көлденең қимасының ауданы  $300 \text{ мм}^2$ , жүктеме түскенде  $20 \text{ мм}$  ұзарады. Табу керек канатқа түсетін жүктеме салмағын, егер канат жасалған болаттың серпімділік модулі  $2 \cdot 10^6 \text{ кГ/см}^2$ .

Жауап: 500 кГ

11. Көмір комбайны бір жүрісінде канатқа  $4 \text{ т}$  созу күшін түсіреді. Канаттың көлденең қимасының ауданы  $250 \text{ мм}^2$ , ұзындығы  $25 \text{ м}$ . Табу керек канаттың абсолюттік ұзаруын және беріктік қор коэффициентін, егер канат жасалған болаттың беріктік шегі  $120 \text{ кГ/мм}^2$ , серпімділік модулі  $2 \cdot 10^6 \text{ кГ/см}^2$  болса.

Жауап: 2 см; 7,5

## 2.3 Зертханалық жұмыс №3.

### Болаттың серпімділік модулін және Пуассон коэффициентін анықтау.

Жұмыстың мақсаты: серпімділік модулін анықтау әдісімен танысу және Пуассон коэффициентін, болаттың серпімділік константасын анықтау.

*Теориялық негіздер.*

Сырықты (стерженьді) созғанда оның бойында бойлық  $\sigma_z$  кернеу және бойлық  $\varepsilon_z$  және көлденең  $\varepsilon_x$  деформациялар пайда болады. Созу күштері аққыштық шегінен аспаған жағдайда бойлық кернеу мен деформация Гук заңына байланысты:

$$\Sigma = E\varepsilon, \quad (5)$$

мұнда  $E$ - серпімділік модулі, немесе модуль Юнга деп аталады.

Бойлық деформациядан басқа сырықтың бойында оның өсіне перпендикуляр бағытта көлденең деформация пайда болады :

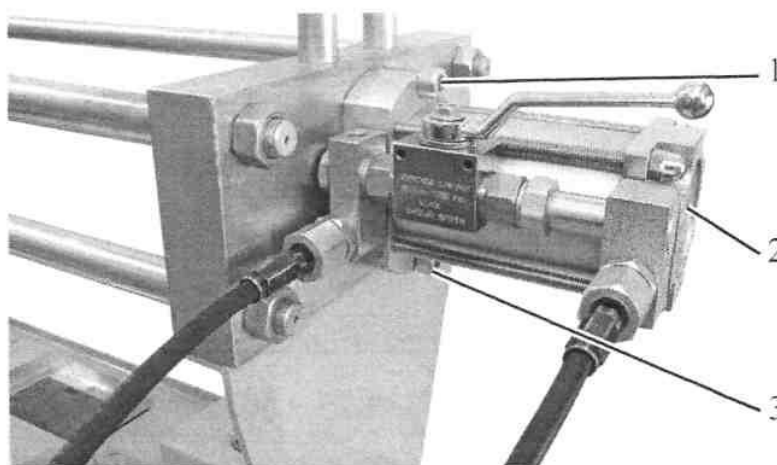
$$\mu = -\varepsilon_x / \varepsilon_z \quad (6)$$

$\mu$  – Пуассон коэффициенті деп аталады.

Сырық серпімділік шеңберінде жүктемеде тұрғанда Пуассон коэффициенті тұрақты шамада болады және оның бойында бойлық және көлденең деформация сызықтық заңмен өзгереді.

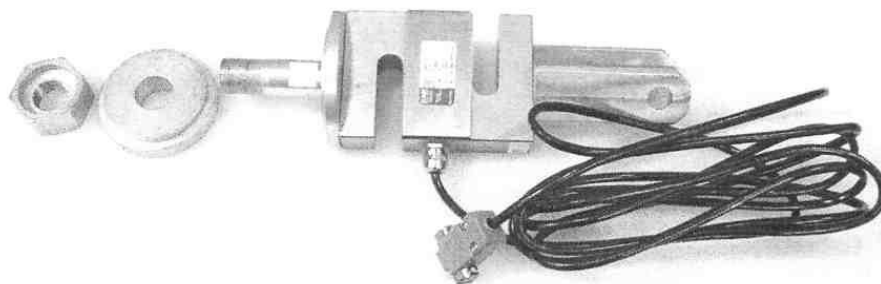
*Тәжірибелік бөлім.*

1. Гидроцилиндрді 2 сынақ жүргізетін стендтің күш түсіретін рамасына (сурет 24) орнату керек. Ол үшін 1 және 3 винттерді (M10) қатайтып орнына келтіру қажет.



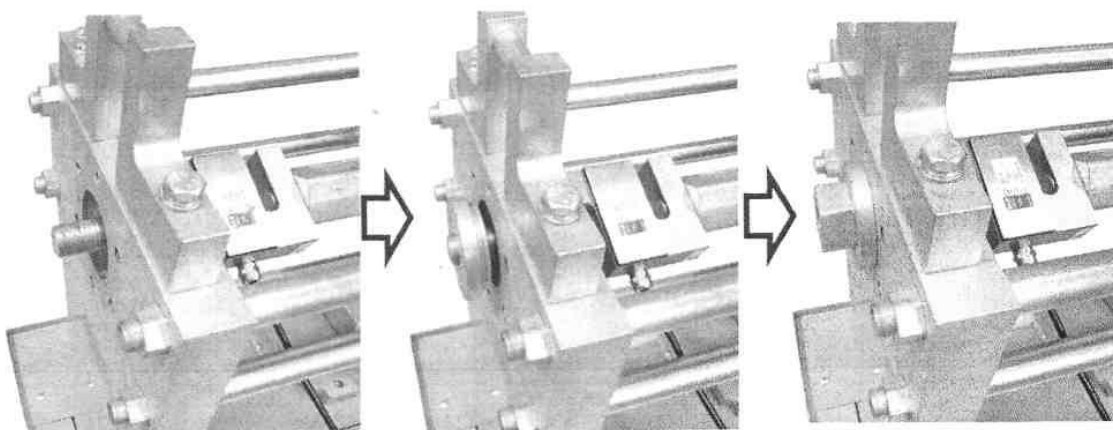
Сурет 24 - Гидроцилиндрді орнату

2. 50 кН күш өлшегіш бекітпесімен (сурет 25) стендтің күш түсіретін рамасына орнату (сурет 26). Құрылған стендтің гайкасын бұрап орнату және оны қатайту «қолмен» жүргізіледі, гайка бұраушы кілттің қажеті жоқ.



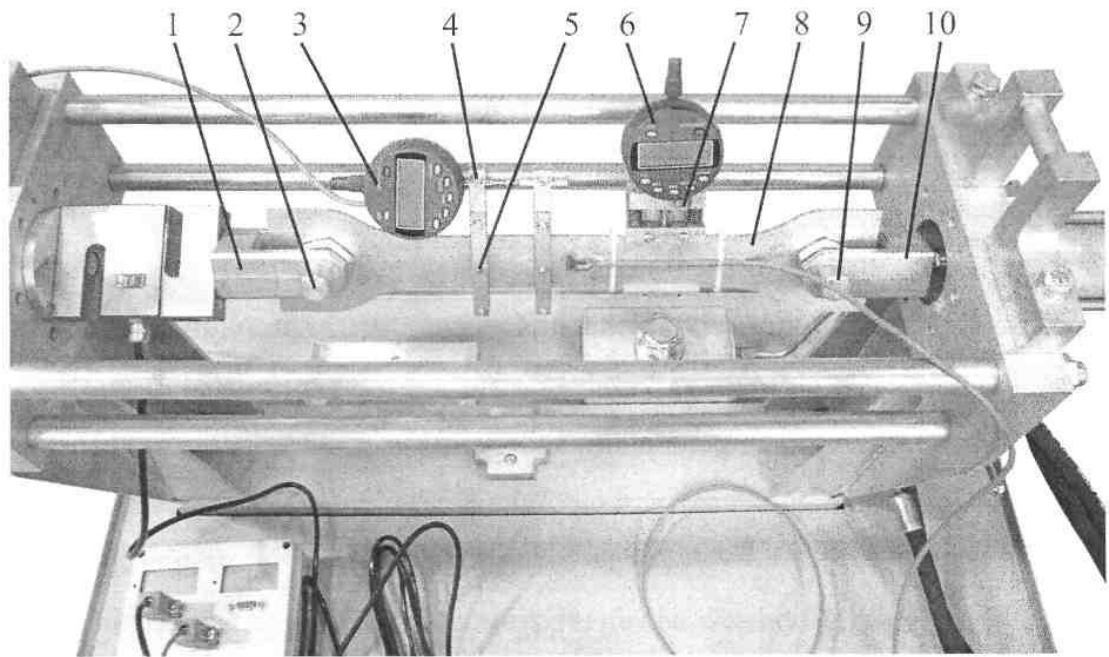
Сурет 25 - 50 кН күш өлшегішті бекітпесімен

3. Үлгінің енін  $b$  және қалыңдығын  $t$  өлшеп, оның көлденең қимасының ауданын  $P_{ге}$  есептеп барлық көрсеткіштерді кесте 2.3.1 жазу.



Сурет 26 - 50 кН күш өлшегішті құрастыру (монтаж)

4. Үлгіні орнату сурет 27 көрсетілген. Үлгіні сол жағымен вилка 1 палец 2 арқылы орнату. Содан кейін насоспен гидроцилиндрі жылжытып палец 9 орнататындай етіп орнату. Насоспен жұмыс 1.2.6 -1.2.8 пункттерінде жазылған. Қажет болған жағдайда вилка 10 айналдырып қою керек. Гидроцилиндрдің вилкасын тек қана сағат тілі бағытымен айналдыру керек (вилка жағыннан қарағанда).



Сурет 27 - Зертханалық жұмысты жүргізуге стендті құрастыру.

5. Цифрлы көрсеткіші бар микрометр 3 (сурет 27) микрометр 5 бекітпесіне орнатып, оны винтпен 4 бекіту. Екінші бекітпені микрометрдің тіреушіне орнату. Бойлық орын ауыстыруды өлшейтін микрометрдің бекітпелерінің арақашықтығы шамамен 40 мм, ал бекітпелер бір – бірімен параллель болуға тиіс. Бекітпелер стопорлық винтпен 5 бекітпенің пружиналық ортасына орнатылады.
6. Микрометрді орнатқаннан кейін оның жұмысшы бөлігінің ұзындығын өлшеп (екі тіректі стопорлық винттерінің арақашықтығын), көрсеткіштерді кесте 2 жазады.
7. Микрометр 6 (сурет 27) көлденең деформацияны өлшейтін бекітпеге винт 7 арқылы қысып орнату.
8. Үлгіге орнатылған 50 кН күш өлшегішінің токқа қосатын клеммасын, микрометрді және тензодатчиктерді өлшегіш – аударушы блокпен қосады.
9. 1.2.3 – 1.2.5 пункттерді орындап шығады.
10. Бағдарламадан пункт «тензометрирование» таңдап алады.
11. Флажокты пункт «определение упругих характеристик» апарып қояды. Тензорезистрдегі деформацияның көрсеткіштері тұрақтағанша шамалы уақыт күте тұру керек, 5-10 минут.
12. Бағдарламада «балансировать деформации» кнопкасын басы.
13. Крандарды гидроцилиндрдің штогі сорып тұратын қалпына келтіріп қою.
14. Кнопка «zero» басып микрометрдің көрсеткіштерін нөлге келтіру.
15. Насостың тұтқасын сағат тіліне қарсы айналдырып, үлгіге жүктеме түсіре бастау. Үлгіге түсетін жүктемені 3 кН өсіру. Жүктеменің ағымдағы мәнін «МКН өлшеу» бойынша бақылап отырады.
16. Жүктеменің, микрометрдің көрсеткіштерін (бойлық  $\Delta_Z$  және көлденең  $\Delta_X$ ) және тензорезистрмен өлшенген  $\varepsilon_{Z_{TP}}$ ,  $\varepsilon_{X_{TP}}$  деформацияларды кесте 2

жазылады. Бойлық деформация тензорезистр №2, көлденең деформация №1 тензорезистрмен өлшенеді (бағдарлама «МКН өлшеу» белгілері бойынша).

17. 15-16 п.п. бойынша пункттерді жүктеменің мәні 27 кН болғанша орындайды.
18. Үлгіні жүктемеден босату, ол үшін крандардың рукоятын олардың бойымен бағыттып қою керек.
19. Стопорлық палецті босатып үлгіні босатып алу.
20. Стопорлық винттерді босатып микрометрді үлгіден босатып алу.
21. Гидроцилиндрді, күш өлшегішті және олады жәшікке және стендке орына қою. Электр өлшегіш – айналдырғыш блогін ток көзінен алу.
22. Әрбір жүктеменің мәні үшін өсьтік кернеудің мәнін  $\sigma = P/A_0$  және бойлық  $\varepsilon_z = \Delta_z/l$  және көлденең деформация мәндерін есептеп шығару керек. Деформация мәндерін микрометрмен және тензорезистрмен алынған мәндермен салыстыр.
23.  $\sigma(\varepsilon_z)$  тәуелділігі графигін сызындар. Ең кіші квадрат дісімен (методом наименьших квадратов) алынған нүктелер бойынша түзу сызық жүргізіп, оның бұрыштық коэффициентін табындар. Анықталған коэффициент серпімділік модуліне  $E$  тең. Аталған құрастыруды микрометрмен және тензорезистрмен анықталған деформация үшін анықтау.
24. Ең кіші квадрат әдісімен  $\varepsilon_x(\varepsilon_z)$ , тәуелділік графигін сызу, графикке түскен нүктелер арқылы түзу сызық жүргізіп, оның бұрыштықты коэффициентін анықтау. Теріс таңбамен табылған бұрыштық коэффициент Пуассон коэффициентіне  $\mu$  тең, (графикті және түзуді Excel бағдарламасымен жүргізген дұрыс. Деформация графигін микрометрмен және тензорезистрмен алынған көрсеткіштер арқылы сызу қажет.

Кесте 2 - Үлгінің геометриялық сипаттамасы

$t$ , мм	$b$ , мм	$l$ , мм	$A$ , мм <sup>2</sup>

Кесте 3 - Тәжірибе хаттамасы

Өлшенген шамалар					Есептелген шамалар		
$P$ , кН	$\Delta_z$ , мкм	$\Delta_x$ , мкм	$\varepsilon_{z,TP} \times 10^6$	$\varepsilon_{x,TP} \times 10^6$	$\sigma$ , МПа	$\varepsilon_z \times 10^6$	$\varepsilon_x \times 10^6$

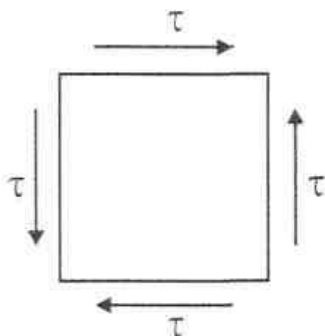
## 2.4 Зертханалық жұмыс №4.

### Материалдың ысырылу модулін анықтау.

Жұмыстың мақсаты: Материалдарды таза ысырылуға сынау, болаттың ысырылу модулін анықтау.

*Теориялық негіздер.*

Егер конструкциядан бөлініп алынған элементтің қырларында тек қана жанама кернеу ( $\tau$ ) пайда болса, онда кернулік күй *таза ығысу* деп аталады (сурет 28).

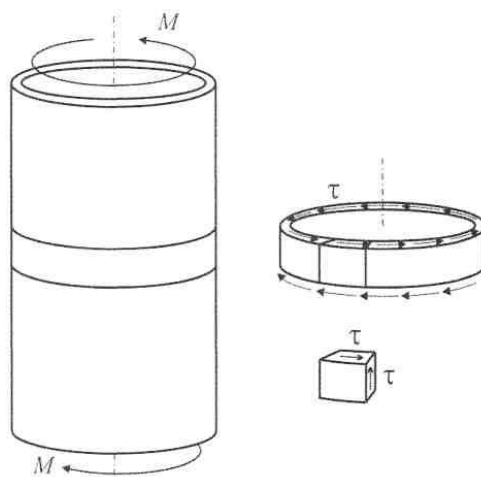


Сурет 28 - Таза ығысу

Мысал үшін жұқа қабырғалы цилиндрді алуға болады. Оның екі қапталынан моменттер әрекет етіп тұр деп есептейміз (сурет 29). Жанама кернеудің  $\tau$  шамасы мына шарт бойынша анықталады: цилиндрдің көлденең қимасында бірқалыпты орналасқан ішкі күштердің моменті сыртқы моменттің  $M$  шамасына тең :

$$\tau = M / (2\pi R^2 \delta), \quad (7)$$

мұнда  $R$  – жұқа қабырғалы цилиндрдің радиусы,  $\delta$  – оның қалыңдығы.



Сурет 29 – Жұқа қабырғалы цилиндрдің бұралуы



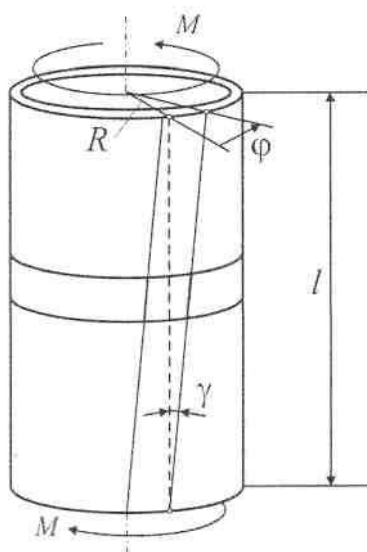
Жанама кернеу  $\tau$  бұрыштық деформациямен  $\gamma$  мына қатынаста болады:

$$\tau = G\gamma, \quad (8)$$

мұнда  $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$  – ығысу модулі немесе екінші текті (второго рода) серпімділік модулі .

Деформацияның әсерінен цилиндрдің шеткі қимасы өзара бұралу бұрышына  $\varphi$  ығысады. Өзара ығысу сурет 30 келтірілген, сонымен қатар

$$\varphi = \gamma l / R.$$



Сурет 30 - Бұралу кезіндегі орын ауыстыру

Қабырғасының қалыңдығы белгілі цилиндр үшін арақашықтығы  $l$  екі шеткі қиманың өзара бұралу бұрышы  $\varphi$  мына формуламен анықталады:

$$\varphi = M l / (G J_P), \quad (9)$$

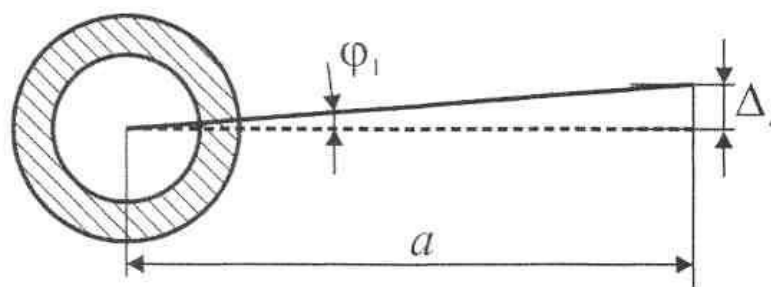
мұнда  $J_P$  –цилиндрдің (трубаның) қимасының полярлық инерция моменті.

Ішкі диаметрі  $d$ , сыртқы диаметрі  $D$  полярлық инерция моменті:

$$J_P = \pi(D^4 - d^4)/32 \quad (10)$$

Екі қиманың өзара бұралу бұрышы әрбір бұралу бұрышының тұрақты салыстырмалы табанынан алынған екі бұрыштың айырмасы ретінде анықталады:  $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$

Егер бұралып тұрған трубаға радиусы бойынша жіңішке сырықты бекітсек, (сурет 31), онда айналу бұрышы аз ғана болғанда айналу бұрышы мына формуламен анықталады:  $\varphi_1 = \Delta_1/a$



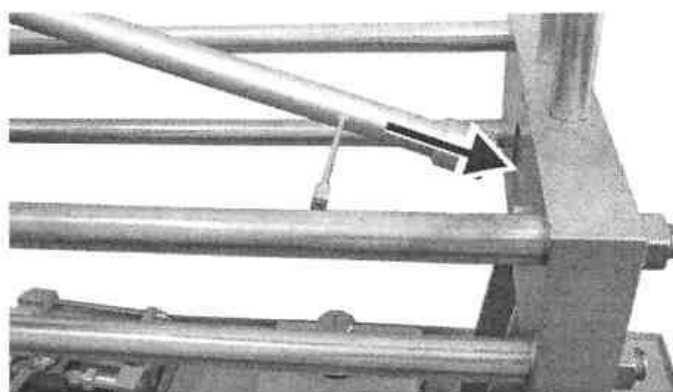
Сурет 31

Осылай, бұралу моментін және екі тірек арасында трубаның өсінен  $a$  қашықтықта орналасқан сызықтық орын ауыстыруды өлшей отырып, трубаның материалының *ығысу модулін* мына формуламен табуға болады:

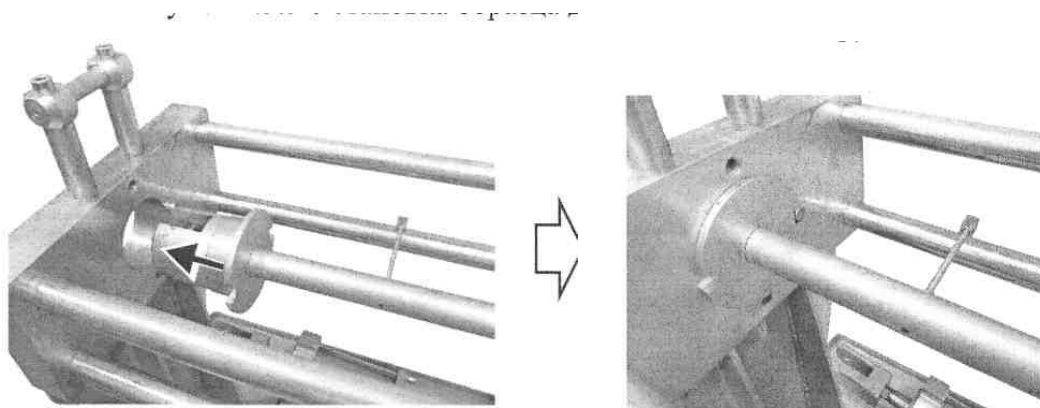
$$G = 32 M l a / [\pi (\Delta_1 - \Delta_2) (D^4 - d^4)]. \quad (11)$$

*Тәжірибелік бөлім.*

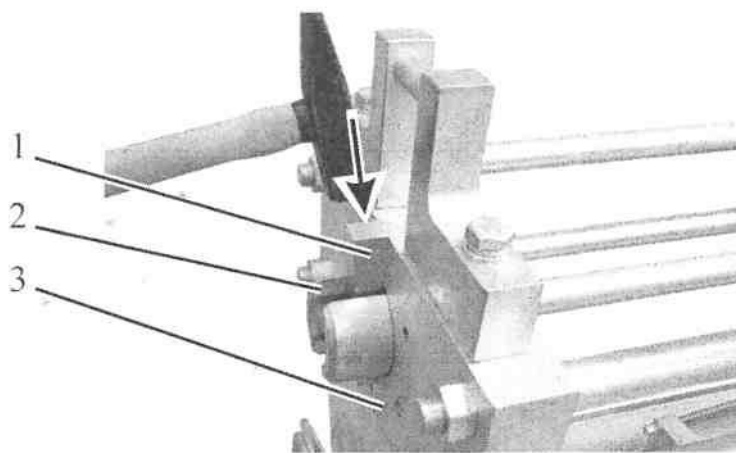
1. Күш түсіретін раманың сол жақ тірегіне бұрау моментіне сынауға үлгіні бекітпесімен қою (орнату). Ол үшін үлгіні көлбеу күйінде оң жақ тіректің рталық тесігіне (сурет 32) орнатып горизонталь күйге келтіру керек (сурет 33). Сол жақ тіректің бекітпедегі пазын штифтпен қиылыстырып оны бекітпе жақсы қысылып орнатқанға дейін жылжытып қою. Бекітпедегі 2 пазға клинді (сурет 34) тіректі бекітпенің өсі мен тіректің 3 арасына орнату. Сыналы (клинді) тірек дұрыс орналасқанына бақылап (ол бекітпенің екі жағынан шығып тұру керек), оны жеңіл балғамен (0,1 кг) стрелканың бағытымен сәл ұрып орнату қажет, 33 суретте көрсетілгендей.



Сурет 32 - Үлгіні бұралуға сынауға орнату

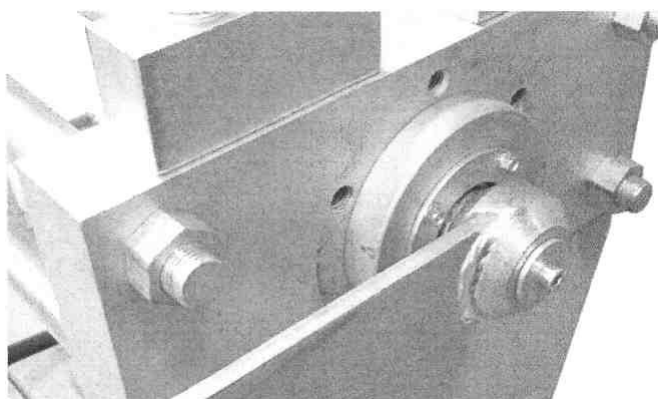


Сурет 33 - Үлгіні бұралуға сынауға орнату



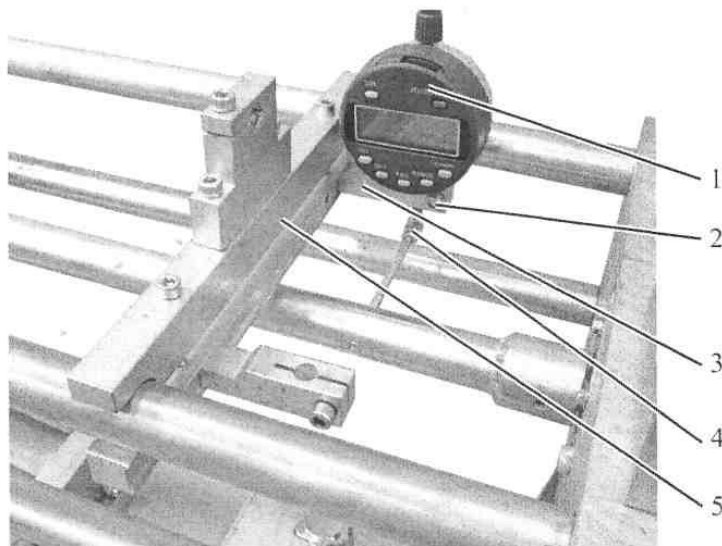
Сурет 34 - Сыналы тіректі орнату

1. Стендтің күш түсіруші рамасының оң жақ тірегіне жүктеме беретін құралды орналастыру (сурет 35). Үлгідегі тесікті жүктеме түсіретін валмен қиыстыру, шпонканы жүктеме түсіретін валдағы шпонканы үлгідегі пазбен келістіру, содан кейін жүк түсіретін құралды тірекке тіеп қою.



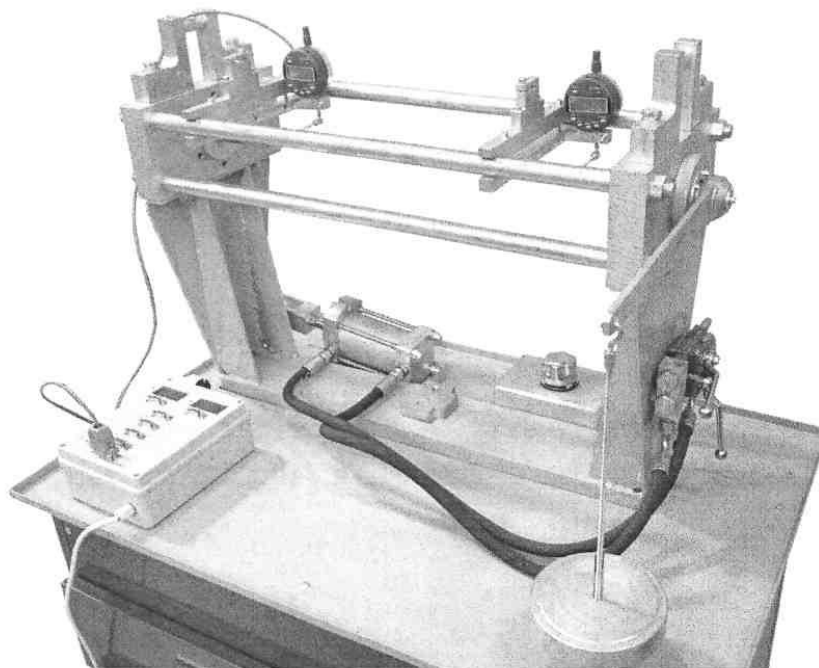
Сурет 35 - Жүк түсіретін құралды орнату

2. Микрометр бекітетін модульді (сурет 36) орнату. Ол үшін кронштейннің тесігі 3 тіректің жоғарғы жағында орналасу қажет (керек болған жағдайда) кронштейнді 3 модульі 5 келесі тесікке жылжытуға болады. Кронштейн 3 микрометр 1 винт 2 арқылы бекіту. Осындай жұмысты екінші микрометрмен де жүргізу керек.



Сурет 36 - Микрометрлерді орнату

3. Жүктеме түсіретін құралға 2,5 кг жүк салады. Жүк салынған сайын микрометрдің көрсеткіштерін жазып алады. Сурет 37 стендтің жоғарыдан түсірген суреті келтірілген.



Сурет 37 - Зертханалық жұмысты жүргізуге арналған стенді құрастыру.

4. Кнопка «zero» басып микрометрдің көрсеткіштерін нөлге келтіреді.
5. Үлгіге қосымша жүк қойып (2,5 кг), оған қосымша бұралу моментін туғызады.
6. Микрометрлердің көрсеткіштерін  $\Delta_1$  және  $\Delta_2$  кесте 4 жазып алады.
7. 7-8 пп. жұмыстарды тағы да қосымша жүктер қойып қайталап шығады.
8. Жұмысты жүргізуге арналған жүктерді және стендтің элементтерін жинап жәшікке салып қояды.
9. Кесте 5 деректері бойынша  $M(\varphi J_P/l)$  графигін түсіреді, ең кіші квадрат әдісімен түсірілген нүктелер арқылы түзу сызық жүргізеді және оның бұрыштық коэффициентін анықтайды. Табылған бұрыштық коэффициент ығысу модуліне тең. (График тұрғызуды және түзу сызықты жүргізуді Excel программасымен жүргізу керек).
10. Есептеу нәтижесінің дәлдігін басқа әдебиеттердегі көрсеткішпен салыстырыңдар. Тұжырымдама жасаңдар.

Кесте 4 - Үлгінің геометриялық сипаттамасы

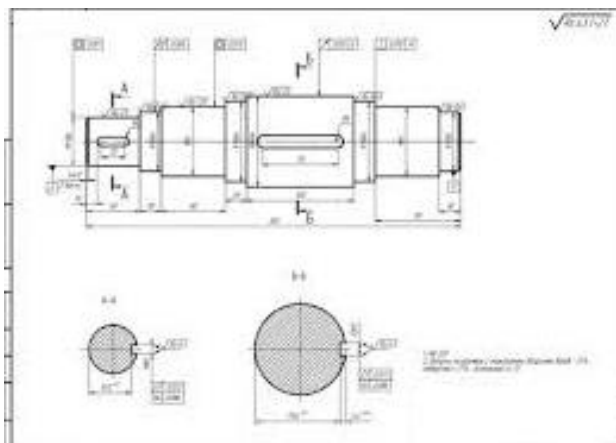
$D$ , мм	$d$ , мм	$l$ , мм	$a$ , мм
22,0	17,0	400	80

Кесте 5 - Сынақ хаттамасы

№ груза	$M$ , Нмм	$\Delta_1$ , мм	$\Delta_2$ , мм	$\varphi = (\Delta_1 - \Delta_2) / a$
1	7350			
2	14700			
3	22050			
4	29400			
5	36750			

### Зертханалық жұмысқа мысалдар мен есептер

#### Мысал.



Қырғыш конвейердің жетекші валының шпонкасының (бұралу моментін беру үшін қолданатын призма типтес элемент) ұзындығы 70 мм ені 20 мм. Валдың диаметрі  $d = 70$  мм. Вал 14,2 кВт қуат береді, айналу жылдамдығы 120 айн/мин. Табу керек шпонкадағы жанама кернеудің шамасын.

*Берілді:*

$$l = 70 \text{ мм}$$

$$b = 20 \text{ мм}$$

$$d = 70 \text{ мм}$$

$$P = 14,2 \text{ кВт}$$

$$n = 120 \text{ айн/мин}$$

*Шешімі:*

*Конвейер валындаға бұралу моменті*

$$P = T\omega; \omega = \frac{\pi n}{30};$$

$$T = \frac{30 \cdot P}{\pi n} = \frac{30 \cdot 14,2 \cdot 1000}{3,14 \cdot 120} = 1130 \text{ Нм} = 115,2 \text{ кгм}$$

*Шпонкаға түсетін күш*

$$F = \frac{T}{r} = \frac{115,2}{0,035} = 3300 \text{ кг} \cdot \text{м}$$

*Шпонканың қиылатын ауданы:*

$$A = b \cdot l = 2 \cdot 7 = 14 \text{ см}^2$$

*Шпонканың жанама кернеуі*

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{3300}{14} = 236 \text{ кг/см}^2$$

*Жауап:* 236 кг/см<sup>2</sup>

### **Есептер:**

1. Болат тіректің тірелетін плитасындағы жанама кернеуді табу керек, егер онның ұзындығы 146 мм, ені 80 мм және ол 46,8Т жанама жүктеме әсерінде болса.

*Жауап:* 400 кг/см<sup>2</sup>

2. Вагонеткалардың тіркеуішінің диаметрі 20 мм және 5 есе беріктік қор коэффициентімен жұмыс істейді бар. Табу керек қандай жүктемеде тіркеуі қиылады, егер қиылу кернеуі 720 кг/см<sup>2</sup> болса.

*Жауап:* 11300 кг

3. Бос жыныс жүктеуші машинаның жетекші шынжырының диаметрі 18 мм шпилькалары 1200 кг жүктеме көтереді. Табу керек шпилькалардың қиылу кернеуін және беріктік қорын. Болаттың қиылуға беріктік шегі 45 кг/мм<sup>2</sup>.

*Жауап:* 4,7 кг/мм<sup>2</sup>; 9,6

4. Жетекші шынжырдың шплинтпен қосылысы қиылуға 1,2Т жүктеме көтереді. Табу керек шплинттің диаметрі қандай болуға тиіс, егер оның қиылу қимасы мүмкін екеу болуы. Шплинт жасалған болаттың беріктік шегі 45 кг/мм<sup>2</sup>, ал оның беріктік қоры 6-ға тең

*Жауап:* 10,1 мм

5. Центрден тепкіш су насосының валы қозғалтқыштың валымен дискалы муфтамен 8 болтпен қосылған. Табу керек беріктігі қиылу шартымен есептелгенде болттардың диаметрін, егер қозғалтқыштың ең үлкен бұралу моменті 237 кГм, болттардың центрінен өтетін муфта шеңберінің  $D = 180$  мм, қиылуға мүкін кернеу  $200 \text{ кГ/см}^2$

*Жауап:* 14,5 мм

6. Диаметрі 45 мм вагонетканы тіркеуші қиылуға жұмыс істейді. Тіркеуштің беріктік шегі  $180 \text{ кГ/см}^2$ . Табу керек қандай жүктемеде тіркеуші қиылады және оның беріктік қоры коэффициенті 600 кГ жүктемеде нешеге тең.

*Жауап:* 2860 кГ; 4,75

7. Центрден тепкіш желдеткішті электр қозғалтқыштың валымен дискалы муфта арқылы қосу керек. Табу керек: жартылай муфтаны диаметрі 150 мм шеңбермен қосу үшін диаметрі 12 мм қанша болт қажет, егер ең үлкен бұралу моменті 75 кГм айналдырғанда болттарда  $150 \text{ кГ/см}^2$  кернеулер пайда болады.

*Жауап:* 6 болт.

8. Жетекші шынжырдың диаметрі 12 мм шпилькаларында жүктемеге беріліс жасағанда  $150 \text{ кГ/см}^2$  кернеу пайда болады. Табу керек, шартты түрде жүктеме шпильканың екі көлденең қимасымен  $d$ ,  $d_0$  беріледі деп есептеп, жүктеменің шамасын қандай болатынын.

*Жауап:* 339 кГ

9. Шплинтпен қосылыс 12Т жүктемені беруге арналған. Шплинттің диаметрі – 8 мм. Шплинттің материалындағы жанама кернеуді табу керек.

*Жауап:*  $120 \text{ кГ/мм}^2$

10. Конвейердің жетекші валының редукторының шпонкасының диаметрін табу керек, егер ол 408 кГм айналу моментін беретін болса. Шпонканың қиылуға мүмін кернеуі  $125 \text{ кГ/мм}^2$ , ені 18 мм.

*Жауап:* 60,5 мм

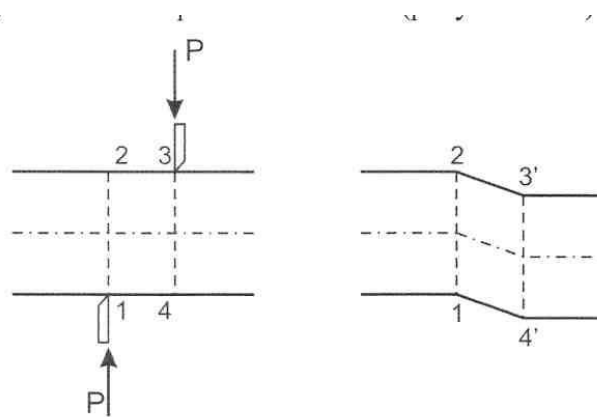
## 2.5 Зертханалық жұмыс №5

### Пластикалық материалдарды қиылуға сынау.

Жұмыстың мақсаты: материалдарды қиылуға сынау әдісін үйрену, қиылуға беріктігін анықтау.

#### Теориялық негіздер

Сырықты екі жағынан қарама – қарсы бір –біріне тең және перпендикуляр бағытта өте жақын қашықтықта екі күш қиып әсер еткенде қиылу деформациясы пайда болады. Мысалы, кәдімгі қайшымен қағазды немесе басқа бір затты қиылу немесе көлденең күштің әрекетімен тұрған тойтармамен (заклепкамен) қосылыстар (сурет 38)



Сурет 38 – Бір жақты қиылу.

Сурет 38 бойынша жүктемеде 1-4 учаскелеріндегі көлденең күш қима әдісімен мына қатынастан анықтауға болады :

$$Q = P \quad (12)$$

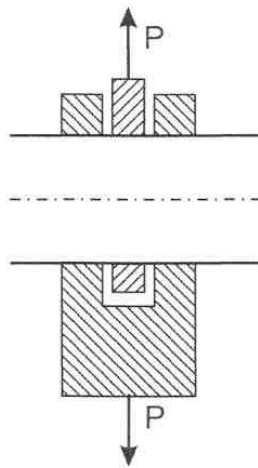
Сырықтың көлденең қимасы түгелімен пластикалық деформацияның әрекетінде тұрғанда сырықтың көлденең қимасындағы жанама кернеу қимада (P) бірқалыпты орналасады.

$$\tau = \frac{P \max}{F}, \quad (13)$$

Екі жақты қиылуда жоғарыдағы (сурет 38) формула

$$\tau = \frac{P \max}{2F} \quad (14)$$

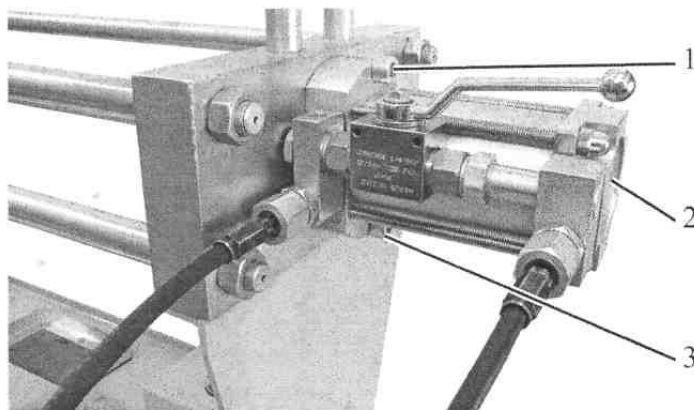




Сурет 39 – Екі жақты қиылу

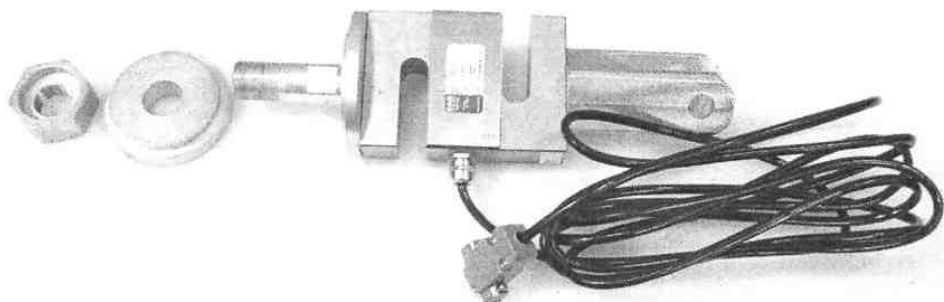
*Тәжірибелік бөлім*

1. Гидроцилиндрді 2-стендтің күш түсіруші рамасына (сурет 40) цилиндрлік басты винттер 1 және 3 бұрап қысу арқылы орнатады.

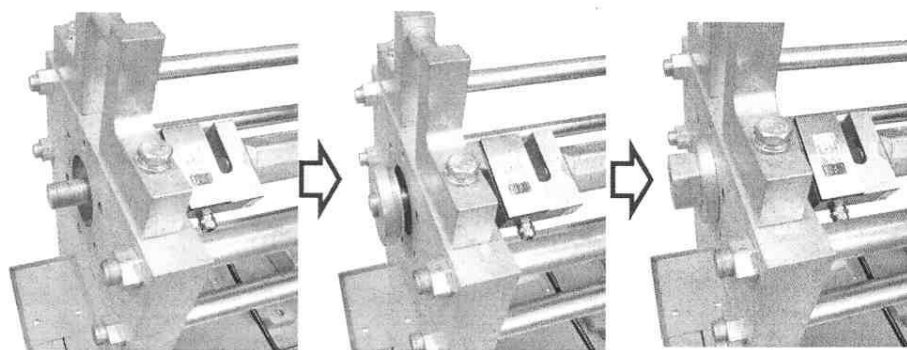


Сурет 40 – Гидроцилиндрді орнату

2. 50 кН күш өлшегішті бекітпесімен (сурет 41) күш түсіретін рамаға орнатады (сурет 42). Гайканы бұрап орнатуды қолмен жүргізеді, гайка бұрайтын кілттің қажеті жоқ.

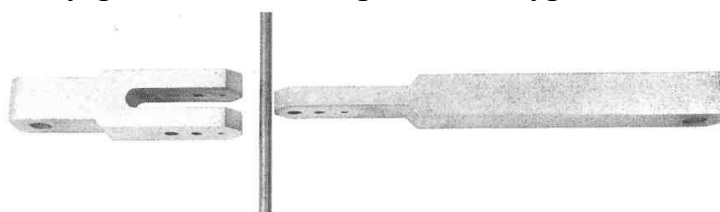


Сурет 41 - 50 кН күш өлшегіш (бекітпесімен)



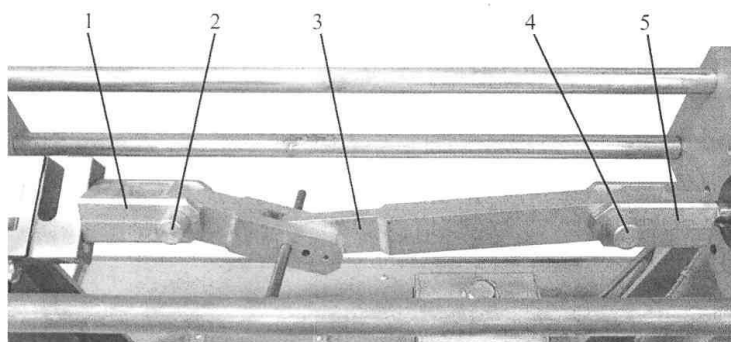
Сурет 42 - 50 кН күш өлшегішті құрастыру (монтаж)

3. Үлгінің диаметрін  $d$ , көлденең қимасының ауданын  $A_0$ , кесте 6 жазып алады.
4. Үлгіні қиылуға сынау үшін бекітпеге орнатады (сурет 43).



Сурет 43 – Қиылуға сынауға арналған бекітпе

5. Бекітпеге орнатылған үлгіні 3 күш өлшегіштің вилкасына 1 және палецтер арқылы 2 және 4 гидроцилиндрге (сурет 44) орнатады. Бекітпесі бар үлгіні микрометрдің вилкасын күш өлшегіштің вилкасына палец 2 арқылы орнатады. Содан кейін насоспен гидроцилиндрді жылжытып, палец 4 орнататындай етіп қояды. Насоспен жұмыс 6-8 пунктерде жазылған. Қажет болған жағдайда гидроцилиндрдің 5 вилкасын бұрап қалпына келтіреді: бекітпенің ішкі және бүйір бетін 3 параллель келтіреді. Гидроцилиндрдің вилкасын сағат тілімен айналдыру керек (вилка жағынан қарағанда).



Сурет 44 – Зертханалық жұмысты жүргізуге стендті құрастыру.

6. Насостың тұтқасын сағат тілінің бағытымен айналдырып сұйықты сорып алады.
7. Крандарды гидроцилиндр сорып алатындай етіп бұрап қояды.

8. «МКН өлшеу» бағдарламасында меню «Диаграмма деформирования» таңдап алады. Флажок «Сбор данных по перемещению» алып тастайды. Диаграмманы сызу үшін «Усилие, кН» от «Время, с» таңдап алады.
9. Бағдарламаға үлгінің геометриялық сипаттамаларын енгізеді: көлденең қимасының ауданын  $A_0$ , диаметрін.
10. Кнопка «начать испытание» басып, сынақтың көрсеткіштерін жинақтайды. Сынақтың уақыты (ұзақтығы) 30 мин аспайды.
11. Баяу (жайлап) гидроцилиндрдің тұтқасын сағат тіліне қарсы айналдырады. Гидроцилиндр штокті өзіне тартады, ал үлгі бұл кезде қиылады.
12. Үлгі сынғаннан кейін кнопка «Завершить испытание» кнопкасын басып жұмысты тоқтатады.
13. Диаграмманы және файлдарды есеп жазуға сақтап қалады.
14. Бекітпелерді, үлгіні босатып алады.
15. Гидроцилиндрді босатады, күш өлшегішті және оның элементтерін жәшікке және стендке орындарына қояды. Өлшегіш – аударушы блоккі ток көзінен алып, бағдарламадан шығады.
16. Диаграммадан күш – уақыт бойынша қиылу кезіндегі ең үлкен күшті анықтайды  $P_{max}$ . Қиылуға қарсылық көрсететін күшті есептеп шығарады, көрсеткіштерді кесте 6 жазып алады.
17. Пластикалық материалдардың қиылу кезіндегі зертханалық жұмысқа қортынды жасалады.

Кесте 6 - Сынақ хаттамасы

$d, \text{ мм}$		$A_0=A_0 = \pi \times d^2/4, \text{ мм}^2$	
$P_{max}, \text{ Н}$		$\tau_{CP} = P_{max}/A_0, \text{ МПа}$	

### Зертханалық жұмысқа мысалдар мен есептер

**Мысал.** Конвейердің рамасының элементтерін қосу үшін диаметрі 8 мм неше тойтарма қажет, егер конвейердің жүктемесі 1,5Т болса және тойтарма материалындағы кернеу мүмкін кернеуден аспаса. Тойтарма материалы – ст-2, жасалған, тойтарма тесіктері бұрандалған.

*Берілді:*

$$d = 8 \text{ мм}$$

$$F = 1,5 \text{ Т}$$

$$\sigma = 1400 \text{ кг/см}^2$$

$z - ?$

*Шешімі:*

Бір тойтарманың көлденең қимасы

$$s = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} = 0,5 \text{ см}^2$$

Барлық тойтармалардың қимасы

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{1500}{1400} = 1,07 \text{ см}^2$$

тойтармалар саны

$$z = \frac{A}{s} = \frac{1,07}{0,5} = 2$$

*Жауап:* 2 тойтарма

1. Вибрациялық конвейердің науашасының (желобының) шетіне таспа (лента) тәріздес рештакқа диаметрі 10мм 10 тойтармамен ілгіштер (проушины) бекітілген. Ілгіштер арқылы рештактар бір-бірімен жағасады. Конвейер жұмыс істегенде 700 кг/см<sup>2</sup> жанама кернеулер пайда болады. Табу керек тойтарма қосылыста қандай күшет әрекет етеді.

*Жауап:* 5495 кг

2. Таспалы конвейердің қозғалтқышы тойтармамен жинақталған конструкция рамасы 18Т жүктеме көтереді. Конструкцияда диаметрі 10 мм 50 тойтарма қолданған. Табу керек тойтарма материалындағы кернеуді.

*Жауап:* 460 кг/см<sup>2</sup>

3. Скиптің (қорабтың) түбі оның бүйір қабырғаларына диаметрі 10 мм тойтармалармен бекітілген. Табу керек тойтармалар санын, егер скипті 12Т көмірмен толтырғанда тойтарма сымдарындағы кернеу 1000кг/см<sup>2</sup> аспайтын болса.

*Жауап:* 15 тойтарма

4. Итергіштің (толкатель) рамасының тойтармалы конструкциясы диаметрі 6 мм 24 тойтармаға 1,2Т жүк түсіреді. Табу керек тойтарма сымдарындағы кернеуді.

*Жауап:* 177 кг/см<sup>2</sup>

5. Табу керек диаметрі 8 мм болатын тойтармалар санын, егер тойтармалы құрылғыда (компенсаторда) 2,3Т жүк түсіргенде кернеу мүмкін кернеуден артпаса. Тойтарма Ст. - 2 жасалған, тесіктері бұралып қойылған.

Жауап: 3 тойтарма

**Мысал.** Табу керек 3 т жүк көтеретін конструкцияның флангілік (бойлық) жігінің (шовтың) ұзындығын, егер жіктің қалыңдығы 8 мм, мүмкін кернеуі 1000 кГ/см<sup>2</sup> болса.

Шешімі:

$$\text{Жіктің жалпы ұқзындығы } l_{\text{общ}} = \frac{F}{\delta[\tau]} = \frac{3000}{0,8 \cdot 1000} = 3,75 \text{ см}$$

$$\text{Жіктің аралығының ұзындығы } l_1 = l_2 = \frac{l_{\text{общ}}}{2} = \frac{3,75}{2} = 1,87 \text{ см} \approx 20 \text{ мм}$$

Жауап: 20 мм

### Есептер

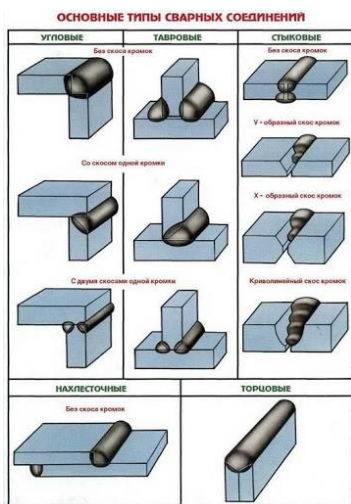
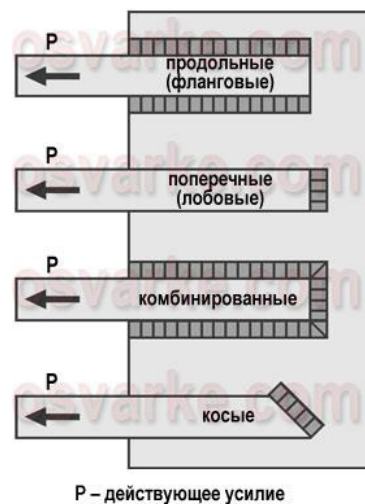


Таблица 1 - Стыковые соединения

Толщина металла	Стыковые соединения
S = 4-8 мм	1-2 мм
S = 4-26 мм	60° 2-4 мм / 2-5 мм
S = 12-40 мм	45-60° 3-5 мм
S = 4-20 мм	45-60° 3-4 мм
	при S <sub>1</sub> ≤ 1,5S
	при S <sub>1</sub> > 1,5S



Сурет 45 - Пісірілген жіктің түрлері

1. Қорап түріндегі скрепердің элементтері пісірілген жікпен қосылған. Табу керек пісірілген жікте пайда болатын кернеуді, егер жікке 8,5Т жүк түссе. Жіктің ұзындығы 120мм, қалыңдығы 8 мм.

Жауап: 885 кГ/см<sup>2</sup>

2. Таспалы конвейердің қозғалтқышының тірегін конструкция элементтерімен пісіру әдісімен жіктеп қосу керек. Табу керек: пісірілген жіктің ұзындығын, егер жікке жүктеме 4,8Т болса, жіктің қалыңдығы 7 мм, мүмкін кернеуі 1000 кГ/см<sup>2</sup>.

Жауап:: 7 см

3. Табу керек қарама – қарсы түйістіріп (маңдайымен) қосылған конструкцияның пісірілген жігінің қалыңдығын, егер жіктің жалпы ұзындығы 220 мм, жүктеме 17 Т, қосылыстағы кернеу  $1000 \text{ кГ/см}^2$  артпаса.

*Жауап:* 8 мм

4. Табу керек, түйіспе (стыковой) пісірілген қалыңдығы 12 мм жіктің ұзындығы қандай болады, егер 1,9 т жүктеме түскенде ондағы кернеу  $900 \text{ кГ/см}^2$  артпау үшін

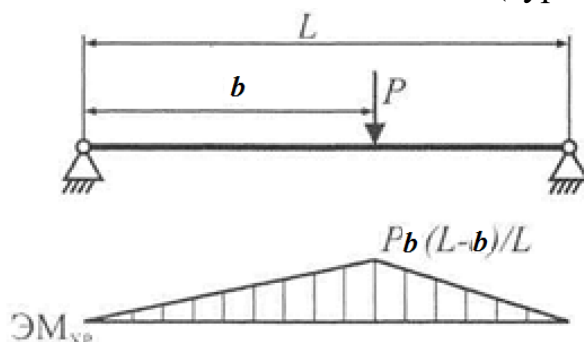
*Жауап:* 1,8 см; 20 мм

## 2.6 Зертханалық жұмыс № 6. Иілген сырықтың орын ауыстыруын анықтау.

Жұмыстың мақсаты: иіліп тұрған сырықтың орын ауыстыру деформациясын өлшеуді тәжірибеде анықтау, нәтижелерін есептелген шамалармен салыстыру.

*Теориялық негіздер.*

Екі жақ басы тіректе орналастырылған сырыққа қадалған күшпен жүктеме түсіргенде онда ию моменті пайда болады (сурет 46).



Сурет 46 - Жүктеме сызбасы және ию моментінің эпюрасы.

Сызықтық және бұрыштық орын ауыстыруды Моор интегралы арқылы табуға болады. Сол жақ тіректен кез – келген \$b\$ қашықтықта орналасқан нүктенің сызықтық орын ауыстыруы мына формуламен анықталады

$$\delta_b = \int_L \frac{M_{XP}M_{XP1}dz}{EJ_x} \quad (15)$$

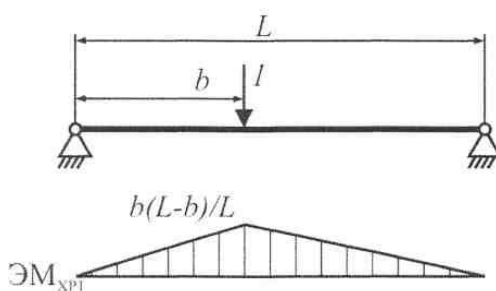
мұнда: \$M\_{XP1}\$ – қарастырып отырған нүктедегі бірлік күштің моменті;  
 \$E\$ – материалдың серпімділік модулі; \$J\_x\$ – қиманың горизонталь ось бойынша алынған инерция моменті;

Оң жақ тіректегі бұрыштық орын ауыстыру:

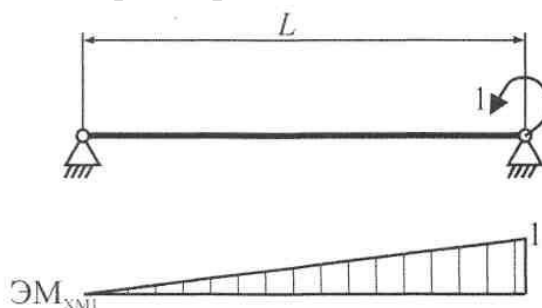
$$\theta = \int_0^l \frac{M_{XP}M_{XM1}dz}{EJ_x} \quad (16)$$

мұнда \$M\_{XM1}\$ – қарастырып отырған нүктедегі бірлік күштің моменті.

Бірлік күштің эпюрасы сурет 47, бірлік моменттің ию моменті эпюрасы сурет 48 көрсетілген.



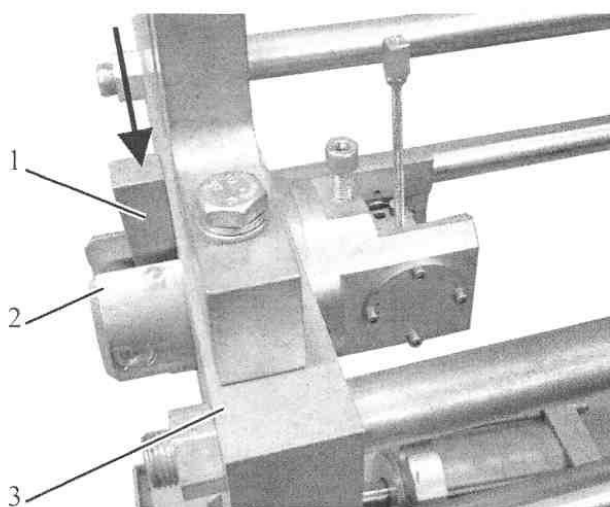
Сурет 47 - Бірлік күштің ию моменті эпюрасы



Сурет 48 - Бірлік моменттің ию моментінің эпюрасы.

*Тәжірибелік бөлім .*

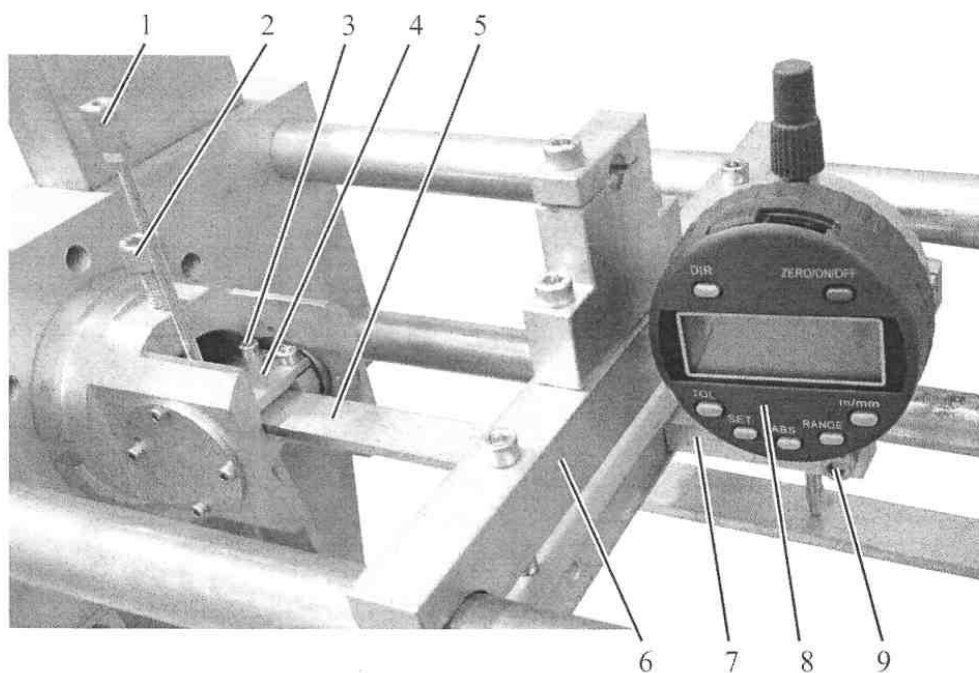
1. Иілуге сынау үшін бекітпені 2 күш түсіретін раманың оң жақ тірек плитасына 3 орналастырады (сурет 49). Ол үшін бекітпені плитаның орталық тесігіне орналастырып, бекітпедегі пазды платадағы штифтімен сәйкестендіріп және бекітпенің тығыз (плотно) отыруы үшін плитаның ішкі бетін түйістіріп қою керек. Сына түріндегі тіректі 1 бекітпенің пазына, бекітпемен мен тірек плитасының арасындағы өсьтен өтетін орнатады. Сыналы тірек күш түсіретін раманың асты – үстінде бірдей шығып тұру керек. Жеңіл балғамен 0,1 кг сынаны стрелкамен көрсеткендей ұрып орнықтыру керек (сурет 49).



Сурет 49 - Иілуге сынауға бекітпені орнату

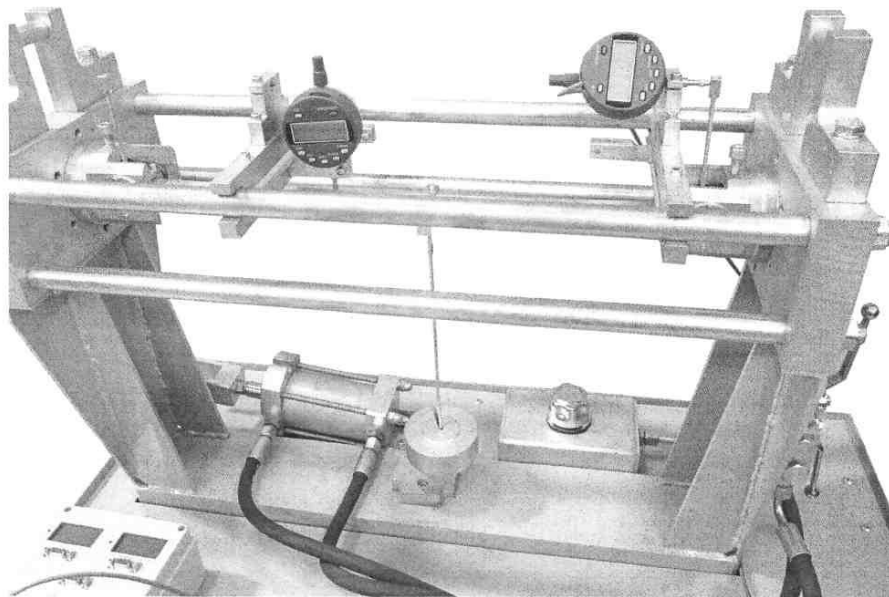


2. Пункт 1 ұқсас сол жақ тірек плитаға екінші бекітпені орнату керек.
3. Үлгінің енін  $b$  және қалыңдығын  $t$  өлшейді. Үлгінің көлденең қимасының инерция моментін есептеп шығарады,  $J_x = h \cdot t^3 / 12$ , есепті кестеге 7 жазып алады.
4. Үлгіні 5 бекітпеге орнатады (сурет 50). Ол үшін винт 3 босатып үлгіні пластинаның 4 астына орналастырады. Үлгіні бекітпеге бекітіп, содан кейін жоғарыда аталған винттерді екінші бекітпеде босатып оған үлгіні орналастырады.

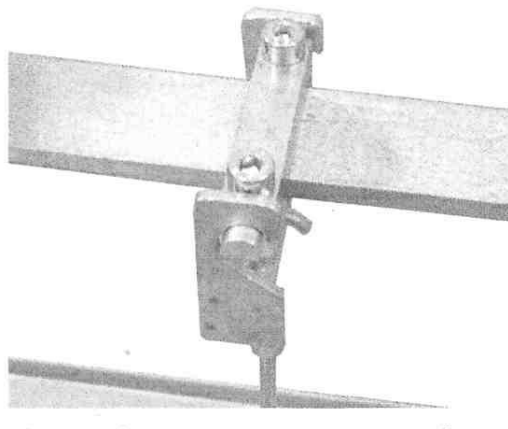


Сурет 50 - Ию кезіндегі орын ауыстыруды анықтау үшін үлгіні орнату.

5. Үлгінің бір нүктесін белгілеп  $b$ , осы нүктеден оң жақ тірекке дейінгі қашықтықты өлшеп кесте 6.1 жазып алады. Микрометрді 6 (сурет 50) бекітуші модульді кронштейннің тесігіне сәйкестендіреді. Кронштейннің 7 тесігі белгілеген нүктенің үстіне келуге тиіс (қажет болғанда кронштейнді жылжытып қояды). Микрометрді 8 кронштейн 7 винт 9 бекітеді. Осындай жұмыстарды екінші микрометрмен де жүргізеді.
6. Микрометрдің екінші модулін бұрыштық орын ауыстыруды анықтау үшін оң жақ тіректе құрастырады (сурет 51).
7. Сол жақ тіректен (шамамен  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{3}{4}$  ұзындығынан)  $a$  қашықтықта жүк ілгішті орналастырады. Кесте 8 қашықтықты жазып алады.
8. Рулеткамен қашықтықты өлшейді, жүк ілгішті орнына орнатады, ілгіштегі винттерді тартып нығайтады (сурет 52).

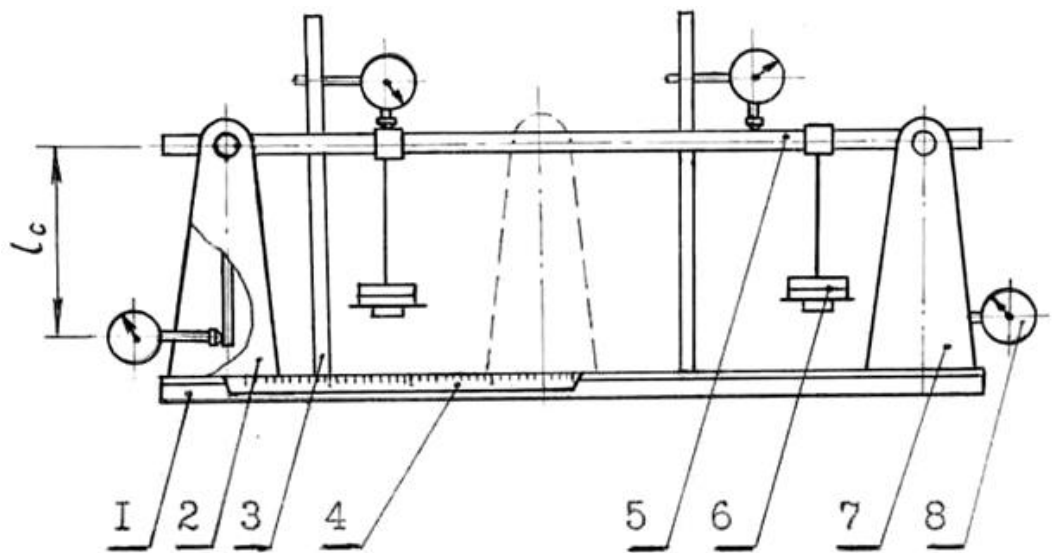


Сурет 51 - Зертханалық жұмысты жүргізетін стендті құрастыру.



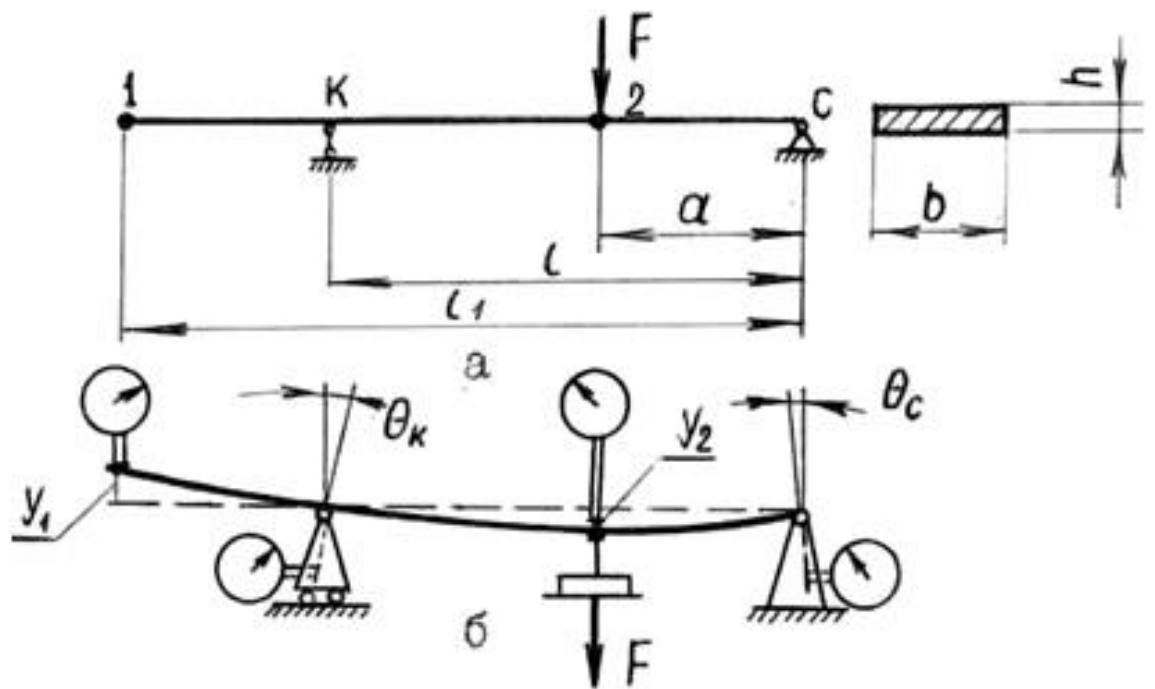
Сурет 52 - Жүк ілгішті орнату

9. Кнопка «zero» басып микрометрдің көрсеткіштерін нөлге түсіреді.
10. Үлгіге түсіретін жүктің шамасын белгілеп алады  $P$  (жүктің сатысы 4,9Н), жүк 30 Н аспау керек.
11. Жүк ілгішке гирлерді қояды.
12. Микрометрдің көрсеткіштерін  $\Delta_1$  және  $\Delta_2$  кесте 8 жазады.
13. Пункт 12 бірнеше рет қайталап орын ауыстыруын өлшейді.
14. Стендтің элементтерін, жүктерді жинап жәшікке салады.
15. Таңдалған нүктелердегі және оң жақ тіректегі бұрыштық орын ауыстыруды, есептеу нәтижелерін тәжірибедегі көрсеткіштермен салыстыр.



Сурет 53 - Иілген сырықтың орын ауыстыруын анықтайтын құрылғы

1- Негізгі тірек; 2- қозғалмалы тірек; 3- сырық; 4- қозғалмалы тіректің шкаласы; 5- зерттеліп отырған үлгі; 6- жүктемелер; 7- қозғалмайтын тірек; 8- индикатор



Сурет 54 - Орын ауыстыруды анықтау сызбасы

Кесте 7 - Үлгінің геометриялық сипаттамалары

$h$ , мм	$t$ , мм	$J_x$ , см <sup>4</sup>	Тіректердің ара қашықтығы $l$ , мм

Кесте 8 - Сынақ хаттамасы

$a$ , мм	$b$ , мм	$P$ , Н	$\Delta_1$ , мм	$\Delta_2$ , мм	$\theta = \Delta_2/100$ мм

Бақылау сұрақтары:

1. Иілу деформациясы қандай параметрлермен сипатталады ?
2. Қиманың иілу шамасын және иілу бұрышын анықтау не үшін қажет?
3. Сырықтың серпімді сызығы деген не? Аталған сырықтың дифференциалдық теңдеуі қалай жазылады?
4. Арқалықтың орын ауыстыруының қандай теориялық әдістері белгілі? Олардың кемшіліктері мен артықшылықтарын атап өтіңіз.

*Зертханалық жұмысқа мысалдар мен есептер*

**Мысал.** Орталық су жиналатын құрылғы камерасында шынжырмен жүретін таль арқылы оның іргетасына (фундаментіне) салмағы 1360 кГ сорғы (насос) орналастырған. Таль № 20 қоставрдың ортасына бекітілген. Қоставр екі шетімен камераның стенасына бекітілген, арқалықтың екі тіректерінің арасы 3,8 м, тальдің салмағы 28 кГ. Табу керек: сорғының және арқалықтың салмағынан арқалықтың ортасындағы орын ауыстырды (стрела прогиба), және арқалықтың кернеуін, камерадағы арқалық шартты түрде топсалы бекітпе деп есептеледі.

*Берілді:*

*Шешімі:*

Арқалыққа әсер етуші июші момент тең :

$$M_{и} = \frac{G_1 + G_2}{4} l = \frac{1360 + 28}{4} \cdot 380 = 131860 \text{ кГ} \cdot \text{см}$$

Арқалықтың кедергі моментін кестеден табамыз

$$W_x = 184 \text{ см}^3$$

Арқалықтың материалының кернеуі:

$$\sigma_{и} = \frac{M_{и}}{W_x} = \frac{131860}{18 \text{ м}^4} = 716,6 \text{ кГ/см}^2$$

Арқалықтың көлденең қимасының осьтік инерция моментін кестеден табамыз:

$$I_x = 1840 \text{ см}^4$$

Арқалықтың ортасындағыт орын ауыстыру (стрела прогиба) :

$$f = \frac{1}{48} \cdot \frac{Fl^3}{EI} = \frac{1}{48} \cdot \frac{1388 \cdot 380^3}{2 \cdot 10^6 \cdot 1840} = 0,03 \text{ см} = 0,3 \text{ мм}$$

*Жауап:* 0,3 мм

### Есептер

1. Қолмен жүргізілетін шырғының (лебедка) иінтірегінің (рычаг) диаметрін табу керек. Иінтіректің ұзындығы 350 мм, 28 кГ көлденең күш әсер етеді және иілуге мүкін кернеуі 600 кГ/см<sup>2</sup>.

*Жауап:* 26 мм

2. Шахта вагонеткасының салмағы 2,5Т. Вагонетканың доңғалағынан мойынтіректерге дейінгі қашықтық 100 мм. Иілуге беріктік шарты бойынша вагонетканың осінің диаметрін табу керек, егер оның мүмін кернеуі 1000 кГ/ см<sup>2</sup> болса.

*Жауап:* 63 мм

3. Шахта стволында (шахтаға түсетін цилиндр тәрізді кеңістік) салмағы 8,5Т су жүретін трубаның тірегі ретінде қоставр арқалық орнату керек. Трубаның салмағынан түсетін жүктеме арқалықтың ортасына түседі деп есептейік, сонда тіректерінің арасындағы қашықтық 1750 мм. Табу керек қоставр арқалықтың профилінің нөмірі қандай, иілуге мүмін кернеу 800 кГ/см<sup>2</sup> деп есептесе.

*Жауап:* №30

4. Вагонетканың канатқа тіркеуішінің диаметрін табу керек, егер тіркеуішке түсетін иілу жүктемесі 150 кГ. Тіркеуіштің ұзындығы 150 мм, мүмін кернеуі 950 кГ/см<sup>2</sup>

*Жауап:* 29 мм

## 2.7 Зертханалық жұмыс №7

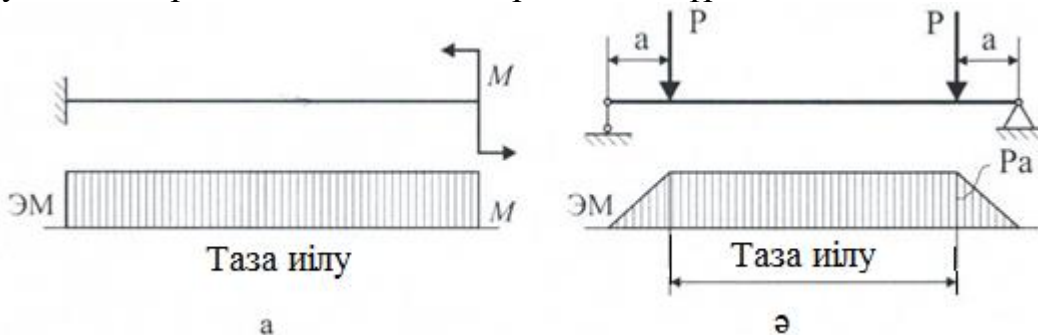
### Иілу кезіндегі арқалықтың қимасындағы кернеуді анықтау.

Жұмыстың мақсаты: серпімді арқалықта таза иілу кезінде тік кернеудің қиманың бойымен орналасуын тензометрия әдісімен тәжірибеде анықтау.

#### Теориялық негіздер.

Сыртқы күштердің әрекетінен конструкцияларда, оның элементтерінде июші момент пайда болатын деформация түрін – иілу деп атайды. Егер қимада бір ғана ию моменті болса, онда деформацияның мұндай түрін таза иілу деп атайды. Бірақ көбінесе, июші моментпен қатар қимада көлденең күш те пайда болады. Иілудің бұл түрін көлденең иілу деп атайды.

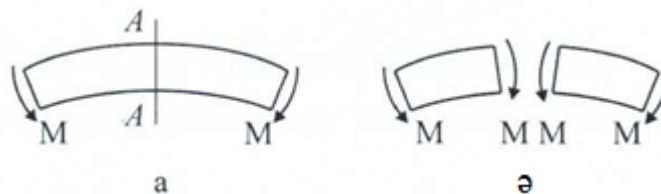
Таза иілу (сурет 55) кезінде арқалықтың көлденең күштер жоқ бөліктерінде, иілу моменті тұрақты болады. Арқалықтың кез – келген қимасында шамасы жағынан бірдей ию моменті пайда болатындықтан, оның барлық қималарында (бойын біртекті деп есептейміз) иілу сызығы бірдей болады. Сондықтан таза иілу кезінде арқалықтың өсі шеңбердің доға түрін алады [1].



Сурет 55 - Жүктеме сызбасы және ию моментінің эпюрасы

Иілуге дейінгі арқалықтың көлденең қимасының жазықтығындағы нүктелер иілудің әсерінен кеңістікте орындарын ауыстырып, қайтадан жазықтықта орналасады. Симметриялық шарт бойынша ортадағы көлденең қиманың нүктелері AA (сурет 56а) орындарын ауыстырмайды, бұл қима жазықтық күйінде қалады.

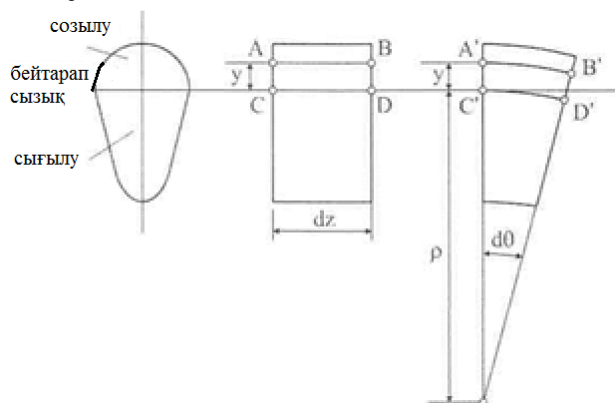
Арқалықты AA қимасы арқылы екі тең бөлікке бөлсек, олардың ортаңғы қималары да жазықтық болып қалады (сурет 56ә) .



Сурет 56 - Таза иілудегі симметрия шарты

Сонымен, таза иілуде арқалықтың барлық біртекті қималары қисаймайды (не искривляются) - тек қана бұралады (поворачиваются).

Таза иілу кезіндегі деформация көлденең жазық қималардың бір – бірімен салыстырғандағы бұралуы деп есептеледі. Егер қатар тұрған бір –бірінен  $dz$  (сурет 57) қашықтықтағы екі қиманы қарастырсақ және сол жақтағы қиманы қозғалмайтын деп есептесек, онда оң жақ қиманың  $d\theta$  бұйышына бұралуы нәтижесінде қиманың жоғарғы талшықтары созылады, ал төменгілері қысқарады. Ұзарылмайтын талшық қабаты бейтарап (нейтральная) қабат деп аталады-  $CD = C'D' = dz$ .



Сурет 57 - Геометриялық белгілер

Қиманың бұралуынан бейтарап қабаттың доғалығының өзгеруі төмендегі формуламен есептеледі:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{dz} \quad (17)$$

Кез келген  $AB = dz$  (сурет 57) сызығы,  $CD$ -дан  $y$  қашықтықта жатқан, иілу нәтижесінде  $A'B'-AB$  шамасына ұзарады, ал қималар жазық күйінде қалатындықтан:

$$A'B'-AB = (\rho + y)d\theta - \rho d\theta = yd\theta, \quad (18)$$

мұнда  $y$  –  $AB$  сызығынан бейтарап қабат  $CD$  –ға дейінгі қашықтығы.  $AB$  қабатының салыстырмалы ұзаруы тең:

$$\varepsilon = \frac{yd\theta}{dz} = \frac{y}{\rho} \quad (19)$$

Гук заңы бойынша:

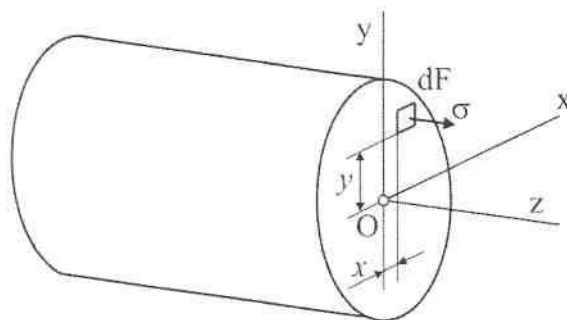
$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{y}{\rho} \quad (20)$$

Сонымен, таза иілу жағдайында көлденең қимадағы кернеу сызықтық заңмен өзгереді. Қимадағы  $\sigma=0$  шартын қанағат қылатын геометриялық нүктелердің жиынтығы қиманың *бейтарап сызығы* деп аталады. Бейтарап сызық иілген арқалықтың жазықтықтағы доғалығына (к плоскости кривизны)

перпендикуляр және қиманың ауырлық орталығынан өтеді. Сонымен,  $y$  –тің координатасы жазықтық доғалығына перпендикуляр орталық осьтен есептеледі.  $1/\rho$  – бейтарап қабаттың доғалығы (кривизна) немесе арқалықтың өсінің доғалығы.

Арқалықтың қимасындағы иілу моментін оның кернеуі  $\sigma$  арқылы мына төмендегі интегралмен жазуға болады (сурет 58):

$$\int_A \sigma x dA = M_Y; \int_A \sigma y dA = M_X \quad (21)$$



Сурет 58 - Ішкі күштер факторлары

Элементар күштердің  $y$  өсінен моменті  $\sigma dA$  нөлге тең, ал ось  $x$  арқылы моменті – толық иілу моментіне  $M$  – ге тең. Сонда мына теңдік шығады:

$$\frac{E}{\rho} \int_A yx dA = 0, \quad \frac{E}{\rho} \int_A y^2 dA = M \quad (22)$$

Бірінші өрнек мына түрге келтіріледі:  $J_{xy}=0$ .

Яғни, арқалықтың доғалығы жазықтықтағы момент бойынша өзгереді, егер момент бас осьтердің бірінен өтсе. Мұндай иілу *тура иілу* деп аталады. Егер иілу моментінің жазықтығы бас осьпен сәйкес келмесе, ондай иілу *қиғаш иілу* деп аталады.

Өрнек (22) арқалықтың доғалығымен иілу моментінің арасындағы тәуелділікті табамыз:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ_X}, \quad (23)$$

мұнда  $J_X$  – бас осьтен алынған (жазықтықтағы иілу моментіне перпендикуляр) қиманың инерция моменті.

$EJ_X$  – шамасы арқалықтың иілудегі қаттылығы, оның шамасы қиманың төртінші дәрежедегі сызықтық мөлшеріне пропорционал, егер олар пропорционал өзгерсе.

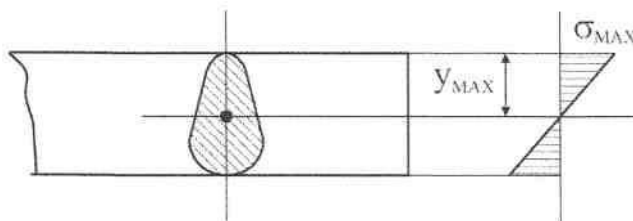
Гук заңынан (23)  $1/\rho$  -доғалығын алып тастаса, онда келесі өрнектен  $\sigma$  шығады:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{J_X}. \quad (24)$$



Иілу кезінде бейтарап өсьтен ең алыс нүктелерде ең үлкен кернеу пайда болады (сурет 59):

$$\sigma_{MAX} = \frac{M \cdot y_{MAX}}{J_X} \quad (25)$$



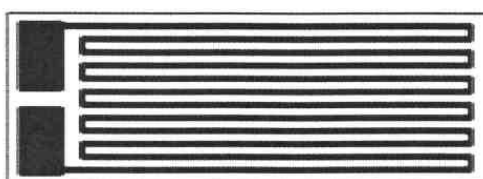
Сурет 59 - Қиманың бойындағы кернеудің орналасуы

Қатынас  $J_X/y_{MAX}$  қиманың иілу кезіндегі *кедергі моменті*,  $W_X$ ,  $cm^3$

Сонымен:  $\sigma_{MAX} = \frac{M_{IZG}}{W_X}$ .

Қиманың иілудегі кернеуі оның үшінші дәрежелі сызықтық мөлшеріне кері пропорционал. Тиімді көлденең қима болып есептеледі, егер ең аз материалдық шығынмен қимада ең үлкен қарсыласу моменті  $W_X$  пайда болса. Сондықтан қиманың ауданын бейтарап өсьтен алысырақ орналастыру қажет. Мысалы двутавр түріндегі қима ең тиімді. Мұндай қималар вертикаль жазықтықта иілгенде басқа қималарға қарағанда әлдеқайда пайдалы.

Арқалық иілгенде оның қимасында кернеудің орналасуын зерттеу үшін (серпімді денелерде) тензометрия әдісін қолдануға болады. Тензометрия [3] әдісінде үш тензорезисторлер қолданады. Тензорезистор - кедергісі деформацияға тәуелді датчик. Тензорезистор жұқа қабыршақтан (пленкадан) немесе ток өткізгіш материалдан жасалады (сурет 60). Олардың арасында ток өткізбейтін материал орналасады. Универсал тензорезисторлардың құрылысы мынадай: жұқа фольга тәріздес (қалыңдығы 5-6 мкм) жұқа пластмасса негізге (қалыңдығы 15-16 мкм) отырғызылады және жұқа ламинатпен қапталады. Тензорезистордың шетінен сыртқы ток сымдарымен қосатын орын қалдырады. Тензорезистор конструкцияға клеймен (желіммен) жабыстырылады, олардың қаттылығы конструкцияның қаттылығынан әлдеқайда аз. Конструкцияға жүктеме түсіргенде деформация тензорезисторға желім (клей) арқылы беріледі, бұл деформацияны өлшеуге мүмкіндік береді. Гук заңы бойынша конструкцияның серпімді алқабында деформация арқылы кернеуді анықтауға болады.



Сурет 60 - Тензорезистордің мысалы

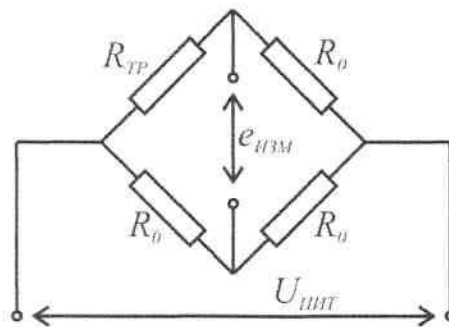
Тензорезистордың кедергісі деформацияға пропорционал:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \varepsilon \quad (26)$$

мұнда  $K$  –тензоанықтағыш (тензочувствительность) коэффициент,  
 $R$  – тензорезистордің номиналды кедергісі.

Тензорезистордің кедергісін мост Уинстон схемасымен қосып, өлшейді. Тензорезистор  $R_{TR}$  және кедергілері тензорезистордің номиналды кедергісіне тең үш резисторды  $R_0$ , мостқа қосады (сурет 61) және тұрақты ток көзіне қосып, кернеуді өлшейді  $U_{ПИТ}$ . Деформацияға түспей тұрған тензорезистордың қарсыласуы  $R_T$  тең  $R_0$ , ал  $U_{ИЗМ}$  нөлге тең. Деформацияға түскен тензорезистордің кедергісі өзгереді, ал  $U_{ИЗМ}$  нөлге тең емес:

$$U_{ИЗМ} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot U_{ПИТ} = \frac{1}{4} \cdot K \cdot \varepsilon \cdot U_{ПИТ}. \quad (27)$$



Сурет 61 – Тензорезисторді қосу сызбасы.

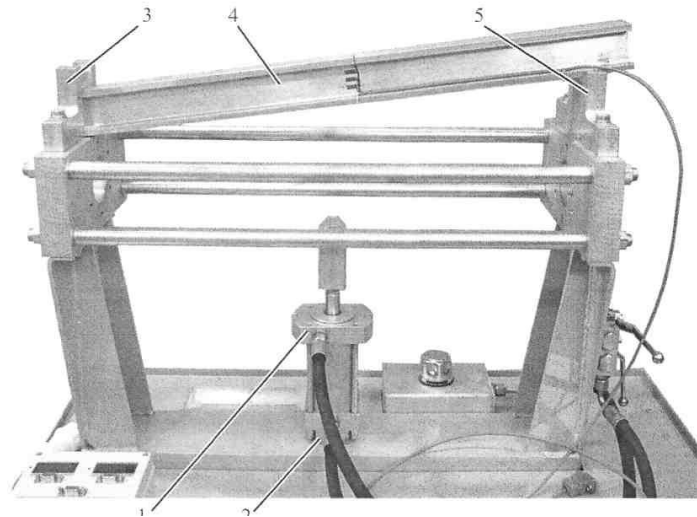
Тензорезистордан шығатын кернеу  $U_{ИЗМ}$  тензоусилительге беріліп, өлшегіш құралға жеткізіледі. Қолданатын сынақ машинасында өлшегіш құрал ретінде плата АЦП және ноутбук қолданады. Өлшенген электр кернеуі бағдарлама «МКН өлшеу» беріліп деформацияға аударылады:

$$\varepsilon = \frac{4 \cdot U_{ИЗМ}}{K \cdot U_{ПИТ}} \quad (28)$$

#### Тәжірибелік бөлім.

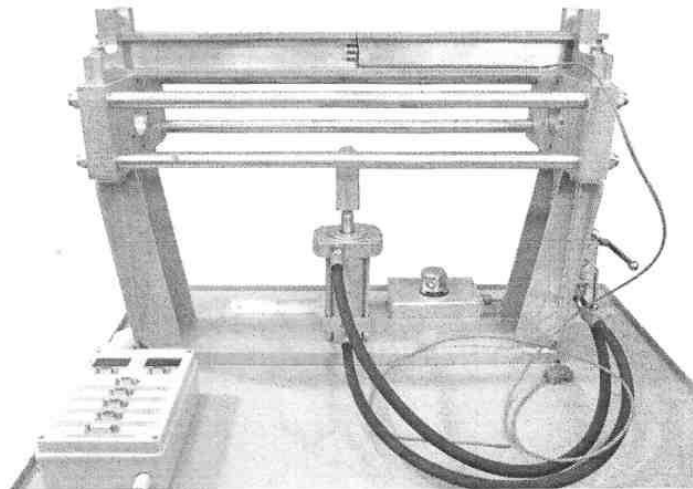
Тәжірибелік бөлім - тензорезисторлермен өлшенген деформацияларды кернеулерге ауыстырып, осьтік тік кернеулердің орналасу заңдылығын анықтайды. Өлшенген күштердің шамасымен тензорезистор тұрған жердегі кернеуді өлшеп, оны тәжірибеден алынған көрсеткіштермен салыстырады.

1. Гидроцилиндрді 1 стендтің күш түсетін рамасына орналастырып, (сурет 62), оның төменгі қақпағындағы белгіні күш түсетін пластинадағы 2 әдейі жасалған көтеріңкі бетпен сәйкестендіреді.



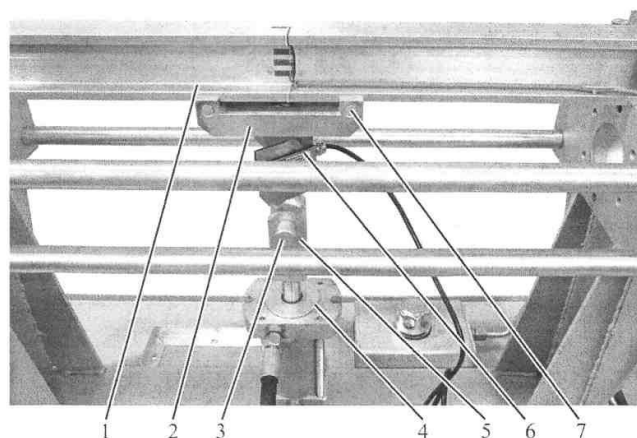
Сурет 62 - Гидроцилиндрді және сырықты орнату

2. Тензорезисторлары бар двутавр сырықты (сурет 62) 4 тіректердің 3 және 5 астына орналастырады. Ол үшін алдымен сырықтың бір жағын (ток жүретін проводтары жоқ жағын) тіректің астына орнатып, 10-15 см жылжытады. Содан кейін сырықтың екінші жағын қарсы жақтағы тіректің астына қояды. Сурет 63 арқалық орнатылған күйде көрсетілген.



Сурет 63 - Сынаққа орнатылған сырық

3. Гидроцилиндрдің штогі 5 кН күш өлшегіш сырықтың астына орнатуға болатындай етіп қою керек (сурет 64). Қажет болса насос арқылы гидроцилиндрді жылжытып, күш өлшегіш орналасатындай етіп орналастырады. Насоспен жұмыс 6-8 шп. жазылған



Сурет 64 - Күш өлшегішті орналастыру.

4. 5кН күш өлшегішті 6 сырыққа 1 жүк түсіретін құрылғымен 2 (сурет 64) гидроцилиндрдің 4 вилкасына 5 стопорлық палец 3 арқылы орналастырады. Жүк түсіретін құрылғы 1 сырықтың өсінің бойымен орналасып, құрылғының пазына кіру керек және цилиндр тәріздес штифтке 7 тіреледі. Қажет болған жағдайда гидроцилиндрдің вилкасын қолмен айналдырып, жүк түсіретін құрылғының пазын арқалықтың қырына параллель етеді. Гидроцилиндрдің вилкасын сағат тілімен айналдырады (вилка жағынан қарағанда).

5. Күш өлшегіштің және тензорезистордың токқа қосатын разъемдарын өлшегіш және аударғыш блокқа қосады.

6. Пп. 3-5 орындап шығу керек.

7. Бағдарламадан «Тензометрирование» деген пунктті таңдап алады.

8. «Распределение деформаций при изгибе» деген пунктке флажок қояды. Деформация шамасы тұрақталғанша күте тұрады, 5-10 минут.

9. Бағдарламада «Балансировать деформации» кнопкасын басады.

10. Гидроцилиндрдің штогі шығып тұратындай жағдайға келтіру керек.

11. «Балансировать усилие» кнопкасын басып, күш өлшегіштің көрсеткіштерін нөлге түсіреді.

12. Насостың тұтқасын сағат тіліне қарсы айналдырып, үлгіге баяу жүктеме (400-500 Н) түсіреді. Күштің ағымдағы шамасын бағдарлама «МКН өлшеу» бақылап отырады.

13. Күштің және тензорезистормен өлшенген деформацияның  $\varepsilon_1 \dots \varepsilon_6$ , мәндерін кесте 9 жазып алынады. Тензорезисторлар сырықта орналасуы бойынша нөмірленеді, бесінші резистор двутаврдің полкасына (кабель жүргізілген) желіммен жапсырылады.

14. пп. 12-13 орындап күшті 2000 Н дейін жеткізеді.

15. Үлгіден жүктемені алынады. Оған дейін екі кранның бекітпелерін олардың бойымен орналастырады.

16. Крандарды штоктың сору жағына қою керек. Ол үшін насостың тұтқасын айналдыра отырып, жүктеме түсіретін құралғыны төменге 5-7 мм түсіреді.

17. Күш өлшегішпен жүк түсіретін құралғыны бір қолмен ұстай отырып, стопорлық палец алынады, содан кейін күш өлшегіш алынады.

18. Гидроцилиндр құрастырудан босатылады (демонтаж жасайды), үлгіні және басқа элементтерді жәшікке, стендте орындарына қояды. Стенд ток көздерінен алынады, бағдарламадан шығады.

19. 1-5 тензорезисторлар орнатылған жерлердегі әрбір жүктеме үшін өсьтік кернеулердің шамасын есептейді:

$$\sigma_{\text{РАСЧ}} = \frac{F(L-l)}{4 \cdot J_X} \cdot y_i \quad (29)$$

мұнда  $P$  – күштің ағымдағы мәні,  $L = 644$  мм – қозғалмайтын тіректер арасының қашықтығы,  $l = 120$  мм – жүктеме құралғысындағы штифтердің арақашықтығы  $y_i$  – бейтарап өсьтен есептегендегі тензорезистордың координатасы (двутаврдың қимасының ортасынан);  $J_X$  – горизонталь өсьтен алынған двутаврдың қимасының инерция моменті.

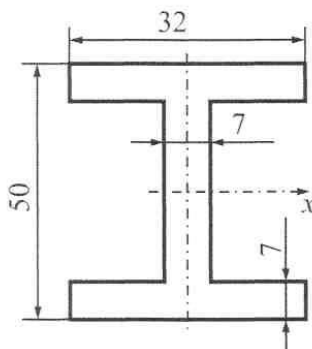
20. Тензорезистормен өлшенген деформациялар бойынша кернеудің шамаларын есептеп шығарады  $\sigma_{\text{ЭКСП}} = E \cdot \varepsilon_1$ , мұнда  $E = 72$  ГПа – алюминий қорытпасының серпімділік модулі.

21. Журавский формуласы бойынша алтыншы тензорезистор тұрған жердегі жанама кернеуді есептеп шығарады, бұл нүктеде нақты таза ығысу болады, яғни нүктедегі бірінші бас кернеу  $\sigma_6^1 = \tau$ .

22. Бірінші бас кернеуді сонымен қатар, тензометрлік әдіспен ( $\varepsilon_6$ ) алынған бас деформация арқылы да есептеп шығаруға болады:

$$\sigma_6^1 = \frac{E}{1+\mu} |\varepsilon_6| \quad (30)$$

23. Жүктеме түсіріп есептеп шығарылған және тензорезисторлар көрсеткішіне алынған кернеулерді салыстырады, қортынды жасалады.



Сурет 65 - Двутавр сырықтың көлденең қимасы

Кесте 9 - Үлгінің көрсеткіштері

Тензистор №	Өсь $x$ -тен тензорезисторға дейінгі қашықтық	Инерция моменті $J_x$ , мм <sup>4</sup>	Серпімділік модулі $E$ , ГПа
1	25	236000	72
2	12,5		
3	0		
4	12,5		
5	25		
6	Өсь $x$ -те , $45^\circ$ сырықтың бойлық есіне		

Үлгінің серпімділік модулі  $E=72$  ГПа, Пуассон коэффициенті  $\mu=0,32$

Кесте 10 - Сынақ хаттамасы

$P$ , Н	№ $i$	$\sigma_{РАСЧi}$ , МПа	$\varepsilon_i \times 10^6$	$\sigma_{ЭКСПi}$ , МПа
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			

## 2.8 Зертханалық жұмыс №8

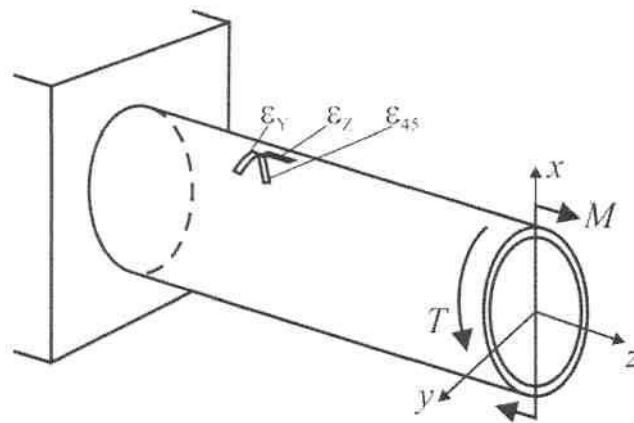
### Күрделі жүктемедегі арқалықтың кернеулік күйін анықтау

(иілу және бұралу күйіндегі)

Жұмыстың мақсаты: тензометрия әдісімен күрделі жүктеме жағдайында деформацияны және арқалықтың кернеулік күйін анықтау.

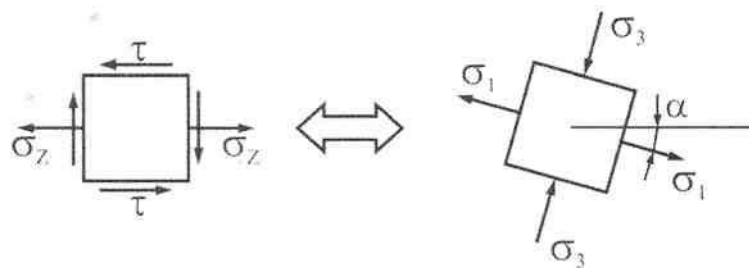
*Теориялық негіздер.*

Жұқа қабырғалы трубаға бір уақытта июші момент  $M$  және бұралу күші  $T$  әсер еткенде (сурет 66) арқалықта қос өсті (двуосное) кернеулік күй пайда болады.



Сурет 66 - Жүктеме түсіру сызбасы

Бұл зертханалық жұмыста арқалықтың қимасында ең үлкен тік кернеулік жағдайда тұрған (арқалықтың жоғарғы нүктесі) нүктенің кернеулік күйі зерттеледі. Қарастырып отырған нүктеде бір уақытта  $z$  өсі бойымен созылу және  $yz$  жазықтығында ығысу әсер етеді. (сурет 67).



Сурет 67 - Кернеудің тензорлық компоненттері

Сыртқы күш бойынша есептелген кернеулер төмендегі қатынастармен анықталады:

$$\sigma_z = \frac{M}{W_y} = \frac{4M}{\pi \cdot D^2 \cdot t} \quad (31)$$

$$\tau = \frac{T}{W_p} = \frac{2M}{\pi \cdot D^2 \cdot t} \quad (32)$$

Бас кернеудің мәндері:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_z}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma_z^2}{4} + \tau^2} \quad (33)$$

Сонымен қатар бас кернеудің шамасы тензометриялық әдіспен тәжірибеде анықтауға болады. Тензометриялық әдісте деформация үш бағытта анықталады: сырықтың бойымен –  $\varepsilon_z$ , сырықтың өсіне перпендикуляр-  $\varepsilon_y$ , және сырықтың өсіне  $45^\circ$  –  $\varepsilon_{45}$ .

Бас деформациялар мына формуладан есептеліп шығарлады:

$$\varepsilon_{1,3} = \frac{\varepsilon_z + \varepsilon_y}{2} \pm \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\varepsilon_z - \varepsilon_{45})^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_{45})^2} \quad (34)$$

Гук заңынан бойынша бас деформациялар арқылы бас кернеулерді өрнектеп жазуға болады:

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_1 + \mu \cdot \varepsilon_3) \\ \sigma_3 = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_3 + \mu \cdot \varepsilon_1) \end{cases} \quad (35)$$

#### *Тәжірибелік бөлім*

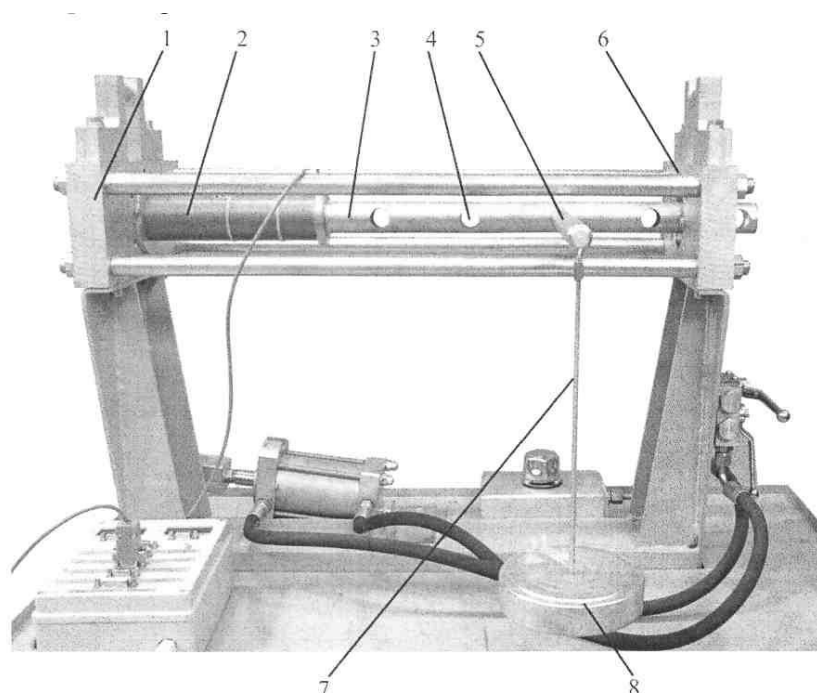
Зертханалық жұмыста ию моментінің және бұралудың бірнеше түрі болуы мүмкін. Сондықтан ию, бұрау моменттерінің қашықтығы (плечосы) және жүктемені (салмағын) мұғалімнің өзі береді.

Ию қашықтығы (рычагтың өсінен тензорезистордің ортасына дейін) болуы мүмкін 180; 280; 380; 480; 580; 680 мм. Бұралу иыйығы (плечосы)  $l$  150-350 мм, жүктеме 24,5–147 Н (қадамы - 24,5Н).

1. Үлгіні күрделі кернеулік жағдайға орнату қажет (сурет 68). Ол үшін үлгіні вертикаль жазықтықта қисайтып, трубаны 3 оң жақ тіректегі 6 тесікке отырғызады. Үлгіні оң жаққа жылжытып, содан кейін үлгіні құралғысымен сол жақ тірекке 1 орнатады (үлгідегі паз сол жақ тіректегі штифтке дәл келу керек)

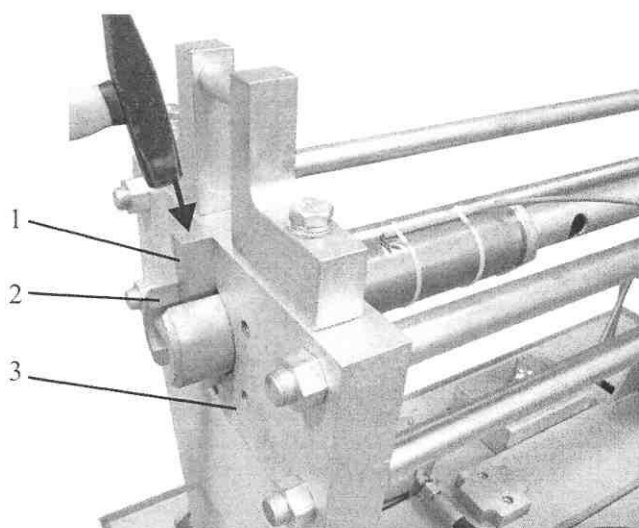
**Ескерту:** үлгіні тек қана трубадан 3 ұстап тұру керек, трубаны тензорезистрлер орнатылған жұмысшы участігінен 2 ұстауға болмайтыны қатаң ескертіледі.





Сурет 68 - Стендті зертханалық жұмысқа құру

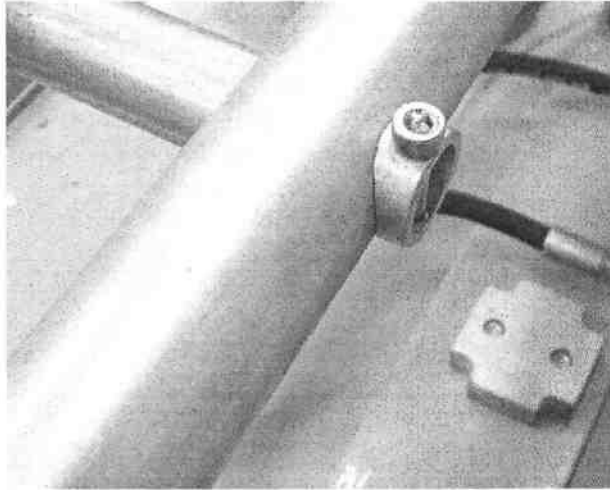
2. Үлгінің құрылғысын сол жақ тірекке бекітеді. (сурет 69). сына түріндегі тіректі (клиновой упор) 1 құрылғының пазына 2 өспен тірек плитасының 3 арасындағы. Сына түріндегі тірек күш түсіретін рамаға жақсы отырғаннан кейін сынаны жеңіл балғамен 0,1 кг стрелканың бағытымен ұрып орнатады. сурет 2.8.4.



Сурет 69 - Үлгіні сына түріндегі тірекпен бекіту

3. Трубаның бір тесігіне 4 жүктеменің (сурет 67) рычагін 5 берілген иық (плечо) бойынша орнатады. Фиксатордың рычагін тесікке орнатады (сурет 70). Фиксаторсыз жұмыс істеуге болмайды.

4. Рычагты бұралу моментінің иығына дейінгі қашықтыққа шығарып қояды.



Сурет 70 - Рычагтың фиксаторы

5. Жүк ілгішті (сурет 58) рычагқа 5 орнатады.
6. Тензорезистордің клеммасын өлшегіш- аударушы блокқа қосады.
7. Пунктерді 2.3-2.5 орындап шығады
8. Бағдарламада меню «тензометрирование» тандап алады.
9. Флажокты «сложное НДС» пунктіне қояды. Бағдарлама көрсететін деформациялар (тензометрмен) тұрақты қалыпқа келгенше күте тұру қажет, 10-15 минут.
10. Бағдарламада «балансировать деформации» кнопкасын басады.
11. Жүктемелерді 7 жүк ілгішке 8 берілген тапсырыс бойынша іледі (сурет 68)
12. Тензорезистордің көрсеткіштерін кесте 11 жазады. Тензорезистор №1 сәйкес  $\varepsilon_z$ , №2 -  $\varepsilon_{45}$ , №3 -  $\varepsilon_y$  (пограмма «МКН өлшеулері» нөмірлері бойынша).
13. Иілу, бұралу иықтары, жүктемелер кесте 11 жазылады.
14. Бас кернеудің шамасын екі әдіспен есептеу керек- жүктеме бойынша және тензорезистордің көрсетуімен. Қортынды жасалады.

*Қосымша көрсеткіштер:*

*Үлгінің серпімділік модулі  $E=72$  ГПа, Пуассон коэффициенті  $\mu=0,32$ .*

*Үлгінің сыртқы диаметрі  $D=50\pm 0,1$  мм.*

*Стенкасының қалыңдығы  $t=1,05\pm 0,05$  мм.*

Кесте 11 Сынақ кестесі

Жүктеме бойынша есеп							
$L, \text{ мм}$		$M=PL,$		$\sigma_z,$		$\sigma_1,$	
$P, \text{ Н}$		$\text{Н} \cdot \text{мм}$		$\text{МПа}$		$\text{МПа}$	
		$T=Pl,$		$\tau,$		$\sigma_2,$	
$l, \text{ мм}$		$\text{Н} \cdot \text{мм}$		$\text{МПа}$		$\text{МПа}$	
Тензометрмен есеп							
$\varepsilon_z \times 10^6$		$\varepsilon_1 \times 10^6$		$\sigma_1, \text{ МПа}$			
$\varepsilon_y \times 10^6$							
$\varepsilon_{45} \times 10^6$		$\varepsilon_2 \times 10^6$		$\sigma_2, \text{ МПа}$			

### Зертханалық жұмысқа мысалдар мен есептер

**Мысал.** Шахта көтергіш құрылғысының (салмағы 800 кГ ) бағыттаушы шкиві 10,2Т вертикал жүктемені көтереді. Шкив оське қатты бекітілген және құрылғының ортасында орналасқан. Тіректер арасының қашықтығы – 700 мм. Табу керек: иілуге берілтікті қамтамасыз ететін осьтің ең кіші мүмкін диаметрін, егер материалдың мүмкін кернеуі 1200 кГ/см<sup>2</sup> болса.

*Шешімі:*

Оське түсетін жүктеме  $G = G_1 + G_2 = 10200 + 800 = 11000 \text{ кГ}$

Иілу моменті  $M_{и} = \frac{Gl}{4} = \frac{11000 \cdot 70}{4} = 192500 \text{ кГ} \cdot \text{см}$

Осьтік кедергі моменті  $W_x = \frac{M_{и}}{[\sigma]} = \frac{192500}{1200} = 160 \text{ см}^3$

Осьтің диаметрі  $d = \sqrt[3]{\frac{32W_x}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 160}{3,14}} = 11,7 \text{ см} = 120 \text{ мм}$

*Жауап:* 120 мм

### Есептер

1. Диаметрі 140 мм көтергіш құрылғының осі оның ортасына орналасқан бағыттаушы шкивтен 14Т жүктеме көтереді. Осьтің тіректерінің арақашықтығы 140 мм. Табу керек ось материалының кернеуін.

*Жауап:* 1040 кГ/см<sup>2</sup>

2. Скрепердің шығыршығы (блок) диаметрі 42 мм оське орнатылған. Блокқа түсетін жүктеме 950 кГ. Табу керек: осьтің материалындағы ең үлкен кернеуді. Осьтің тіректерінің арасындағы қашықтық 230 мм.

*Жауап:* 740 кГ/см<sup>2</sup>

3. Айналмалы платформаның валы редуктор арқылы электрқозғалтқыштан айналады. Валдың диаметрі 110 мм, платформа айналғанда 900 кГ/см<sup>2</sup> кернеу пайда болады. Табу керек валдың беретін бұралу моментін.

*Жауап:* 2349 кГм

4. Шиберлік жапқыштың валлы 3180 кГсм бұралу моментін шынжырдың жұлдызшаларынан (от звездочки цепи) алады және рейка арқылы шиберді қозғалтады. Валдың қауіпті қимасында 600 кГ/см<sup>2</sup> жанама кернеу пайда болады. Валдың диаметрі қандай?

*Жауап:* 30 мм

5. Вагонеткаларды айналып құлатып жүгін түсіруші құрылғының жетекші валы фрикционды барабан арқылы 23180 кГсм. бұралу моментін береді, валдың диаметрі 100 мм. Табу керек: валдың материалында қандай кернеу туындайды?

*Жауап:* 118 кГ/см<sup>2</sup>

**Мысал.** Конвейердің рамасының элементтерін қосу үшін диаметрі 8 мм неше тойтарма қажет, егер конвейердің жүктемесі 1,5Т болса және тойтарма материалындағы кернеу мүмкін кернеуден аспаса. Тойтарма материалы – ст-2, жасалған, тойтарма тесіктері бұрандалған.

*Берілді:*

*Шешімі:*

$$d = 8 \text{ мм}$$

Бір тойтарманың көлденең қимасы

$$F = 1,5 \text{ Т}$$

$$s = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} = 0,5 \text{ см}^2$$

$$\sigma = 1400 \text{ кГ/см}^2$$

Барлық тойтармалардың қимасы

$z$  - ?

$$A = \frac{F}{\sigma} = \frac{1500}{1400} = 1,07 \text{ см}^2$$

$$\text{Тойтармалар саны } z = \frac{A}{s} = \frac{1,07}{0,5} = 2 \text{ тойтарма}$$

*Жауап:* 2 тойтарма

## Есептер

1. Вибрациялық конвейердің науашасының (желобының) шетіне таспа (лента) тәріздес рештакқа диаметрі 10 мм 10 тойтармамен ілгіштер (проушины) бекітілген. Ілгіштер арқылы рештактар бір-бірімен жағасады. Конвейер жұмыс істегенде  $700 \text{ кГ/см}^2$  жанама кернеулер пайда болады. Табу керек тойтармаға қосылыста қандай күш әрекет етеді.

*Жауап:* 5495 кГ

2. Таспалы конвейердің қозғалтқышы тойтармамен жинақталған конструкция рамасы 18 т жүктеме көтереді. Конструкцияда диаметрі 10 мм 50 тойтарма қолданған. Табу керек тойтарма материалындағы кернеуді.

*Жауап:*  $460 \text{ кГ/см}^2$

3. Скиптің (қорабтың) түбі оның бүйір қабырғаларына диаметрі 10 мм тойтармалармен бекітілген. Табу керек тойтармалар санын, егер скипті 12 т көмірмен толтырғанда тойтарма сымдарындағы кернеу  $1000 \text{ кГ/см}^2$  аспайтын болса.

*Жауап:* 15 тойтарма

4. Итергіштің (толкатель) рамасының тойтармалы конструкциясы диаметрі 6 мм 24 тойтармаға 1,2 т жүк түсіреді. Табу керек тойтарма сымдарындағы кернеуді.

*Жауап:*  $177 \text{ кГ/см}^2$

5. Табу керек диаметрі 8 мм болатын тойтармалар санын, егер тойтармалы құрылғыда (компенсаторда) 2,3 т жүк түсіргенде кернеу мүмкін кернеуден артпаса. Тойтарма Ст. - 2 жасалған, тесіктері бұралып қойылған.

*Жауап:* 3 тойтарма

**Мысал.** Табу керек 3 т жүк көтеретін конструкцияның флангілік (бойлық) жігінің (шовтың) ұзындығын, егер жіктің қалыңдығы 8 мм, мүмкін кернеуі 1000 кГ/см<sup>2</sup> болса.

*Шешімі:*

$$\text{Жіктің жалпы ұзындығы } l_{\text{общ}} = \frac{F}{\delta[\tau]} = \frac{3000}{0,8 \cdot 1000} = 3,75 \text{ см}$$

$$\text{Жіктің аралығының ұзындығы } l_1 = l_2 = \frac{l_{\text{общ}}}{2} = \frac{3,75}{2} = 1,87 \text{ см} \approx 20 \text{ мм}$$

*Жауап:* 20 мм

**6.** Қорап түріндегі скрепердің элементтері пісірілген жікпен қосылған. Табу керек пісірілген жікте пайда болатын кернеуді, егер жікке 8,5 т жүк түссе. Жіктің ұзындығы 120мм, қалыңдығы 8 мм.

*Жауап:* 885 кГ/см<sup>2</sup>

**7.** Таспалы конвейердің қозғалтқышының тірегін конструкция элементтерімен пісіру әдісімен жіктеп қосу керек. Табу керек: пісірілген жіктің ұзындығын, егер жікке жүктеме 4,8 т болса, жіктің қалыңдығы 7 мм, мүмкін кернеуі 1000 кГ/см<sup>2</sup>.

*Жауап:* 7 см

## 2.9 Зертханалық жұмыс № 9

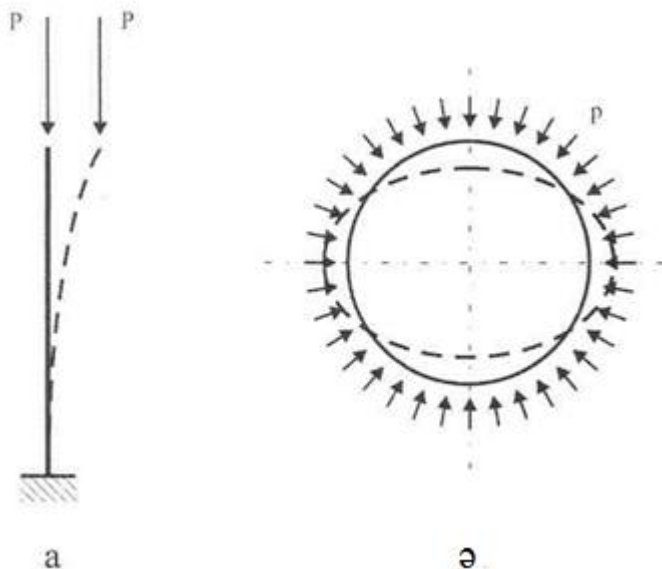
### Сығылуда тұрған сырықтың орнықтылығын зерттеу (дағдарыс күшін анықтау)

Жұмыстың мақсаты: бойлық сығылған (продольное сжатие) сырықтың тәжірибеде орнықтылығын жоғалтатын жүктемені анықтау.

#### Теориялық негіздер .

Кез- келген жүйенің, сыртқы күштер әсер еткенде өзінің бұрынғы күйін сақтап қалу қасиетін *орнықтылық* дейді. Егер жүйе күштер әсерінен бұрынғы күйін сақтап қала алмаса, онда ол орнықсыз жүйе болып саналады. Кәдімгі жағдайда денені әрқашан тепе-теңдік жағдайдан шығаратын бірнеше себептер болады. Сондықтан жаңадан орнықсыз жағдайға ауысатын мүмкіндік әрқашан туады. Мұндайда дене орнықтылығын *жоғалтты деп* айтады. Орнықтылықты жоғалтудың ең қарапайым түрі: орталықпен сығылған сырықтың орнықтылығын жоғалту (сурет 71а). Егер сыртқы күш өте үлкен болса, сырық өзінің түзулігін жоғалтып, иіледі.

Орнықтылықты жоғалтудың тағы бір мысалы, сыртқы күштің әсерінен жұқа қабырғалы трубаның деформациясы. Трубаның шеңбер түріндегі қимасы эллипске айналып, соңынан толығымен жаншылып қалады (сплющивается). Бірақ труба өзінің орнықтылығын жоғалтса да, оның металы аққыштық шегіне жетпейді.



Сурет 71 - Конструкцияны жүктегенде орнықтылығын жоғалтуы

Конструкция сенімді жұмыс істеуі үшін, және оның беріктігін сақтау үшін, оның барлық элементтері орнықты болу керек. Сол себептен кейбір жағдайда конструкцияның беріктігін тексерумен қатар, оның орнықтылығын тексеру қажет.

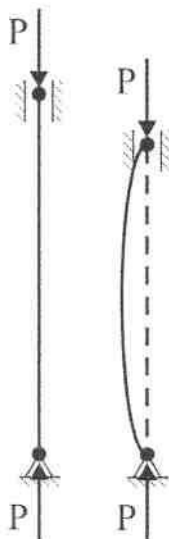
Тіректерге топсамен бекітілген ұзын сырықты қарастырайық

(сурет 72). Сырықтың үстінен орталықпен сығылған  $P$  күшімен қысайып, күш біртіндеп жоғарылай берсін.

Күш аз кезде сырық өзінің түзу қалпын сақтап тұрады. Кейде сырық күш көбейген кезде өз орнынан ауытқып кетеді, бірақ күштен босатқан кезде қайтадан бұрынғы қалпына келеді. Күшті  $P$  біртіндеп көтерген сайын сырықтың өзінің бұрынғы қалпына келуі азаяды. Күш  $P$  бір шамаға дейін көтерген соң орнынан ауытқыған сырық түзу қалпына келмейді, қисайып қалады. Егер  $P$  күшті сол қалпында қалдырып сырықты түзететін болсақ, ол өзінің түзулігін сақтай алмайды.  $P$  күшінің шамасын дағдарыс  $P_K$ , күші дейміз. Дағдарыс күші  $P_K$  сырықта сығылған кернеу туғызады  $\sigma_K = P_K/P$ . Сығылған сырықта дағдарыс кернеуі қауіпті болады. Сондықтан сырықтың түзу формадағы орнықтылығын қамтамасыз ету үшін, оның беріктік шартына орнықтылық шарты қосылады :

$$\sigma = P/F \leq [\sigma_y], \quad (36)$$

мұнда  $[\sigma_y]$  – орнықтылықтың мүмкін кернеуі; ол дағдарыс кернеуін орнықтылықтың коэффициентіне бөлгенге тең  $[\sigma_y] = \sigma_K/K$



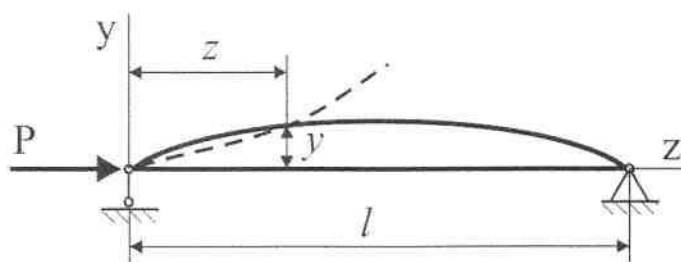
Сурет 72 - Бойлық күшпен сығылған сырықтың орнықтылығы

Дағдарыс кернеуін  $\sigma_K$  табу үшін, алдымен дағдарыс күшті  $P_K$ , есептеп шығарады, яғни қисайған сырықты тепе – теңдікте ұстап тұратын ось бойынша ең аз сығылу күшін. Бұл есепті бірінші рет Л.Эйлер шешкен.

Тірекке топсалы бекітілген түзу сырықты қарастрайық. (сурет 73). Сырыққа орталықпен бойлық сығылу күшпен  $P=P_K$  жүктеме түсіріп, оны қаттылығы ең аз жазықтықта шамалы иеміз (қисайтамыз).

Иілген өсі бар сырықтың тепе – теңдік шартын қарастырайық.





Сурет 73 - Эйлер есебі

Сырықтың серпімді нүктелерінің координаталарын  $z$  және  $y$  белгілейміз. Иілу аз кезінде

$$E \cdot J \cdot y'' = M \quad (37)$$

мұнда  $E$  – серпімділік модулі,  $J$ - қиманың ең аз инерция моменті,  $M$  – ию моменті.

Ию моментінің  $M$  абсолютті шамасы тең -  $F \cdot y$ . Сырықтың доғалығын (кривизну) өсіретін момент оң деп есептеледі. Сондықтан,  $E \cdot J \cdot y'' = -P \cdot y$ .

Белгілейік

$$P/EJ = k^2 \quad (38)$$

Сонда теңдеу (1) болады:

$$y'' + k^2 \cdot y = 0 \quad (39)$$

Осыдан

$$y = C_1 \sin kz + C_2 \cos kz \quad (40)$$

Тұрақты көрсеткіштер  $C_1$  және  $C_2$  мына шекті шарт бойынша алынған: егер  $z=0, y=0$  және егер  $z=l, y=0$ .

Осыдан  $C_2=0$  и  $C_1 \sin kl=0$ .

Соңғы теңдеудің екі шешімі болуы мүмкін:  $C_1=0$ , немесе  $\sin kl=0$ .

Бірінші шарт орындалса  $C_1= C_2 = 0$  орын ауыстыру  $y$  нөлге тең болады, онда сырық түзу қалпын сақтайды. Екінші шарт орындалса  $kl=\pi n$ , мұнда  $n$  – кез – келген бүтін сан. Теңдеу (2) ескере отырып:

$$P = \pi^2 n^2 EJ/l^2. \quad (41)$$

Бұл сырық қисық сызық формасын сақтау үшін күш  $P$  өзінің бір мәнін алу керек. Ең аз, нөлден басқа күш  $P$  болады, егер  $n=1$ ,

$$P_{кр} = \pi^2 EJ/l^2 \quad (42)$$

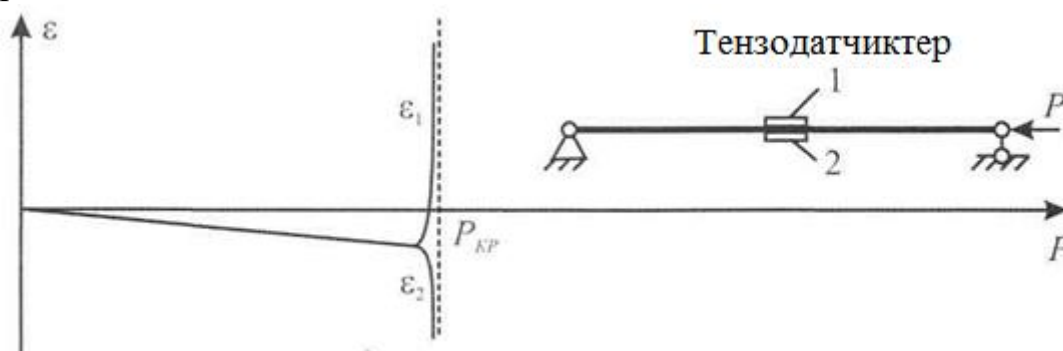
Бұл күш *бірінші дағдарыс күші* немесе *эйлер күші* деп аталады.

Егер  $n=1, kl=\pi$ , сонда теңдеу сырықтың серпімді сызығының теңдеуі мына түрге келеді

$$y = C_1 \sin(\pi z/l) \quad (43)$$

Сырық жартылай синусоида сияқты иіліп, ең үлкен иілуі (прогибі)  $S_1$  болады.

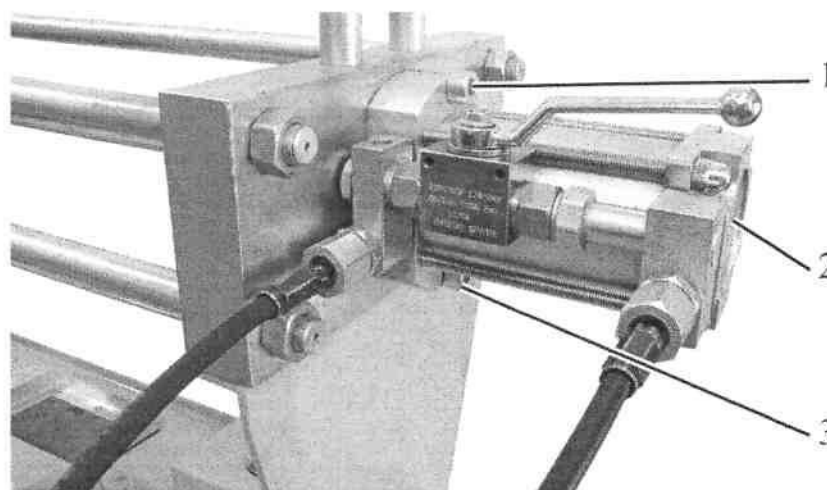
Сыртқы жүктеме бірінші дағдарыс күшке жеткен кезде сырық бойында геометриялық кемшіліктер болғандықтан орнықтылығын жоғалтады. Кинематикалық жүктеме жағдайында сырық жаңа тепе – теңдікке өтеді-қисайған, сонымен қатар оның ортаңғы қимасында иілу моментінің пайда болуына байланысты кернеу және деформация күрт өседі. Сонымен, бірінші дағдарыс күш кезінде орнықтылықты жоғалту сырықтың бойлық өсімен ортаңғы қимасында орналасқан екі тензодатчикпен жазылып алынады (сурет 74)



Сурет 74 - Деформацияның сығылу күшіне тәуелділігі

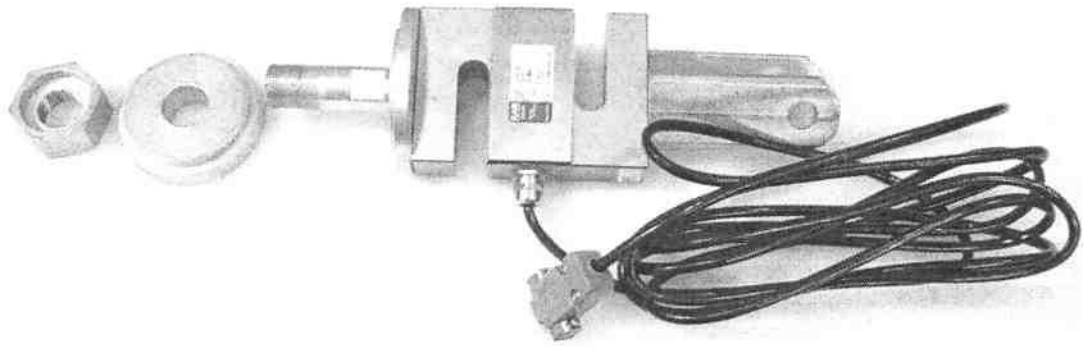
*Тәжірибелік бөлім.*

1. Гидроцилиндрді 2 стендтің күш түсіретін рамасына орнатады. (сурет 75) (винт 1 және 3 бұрап).

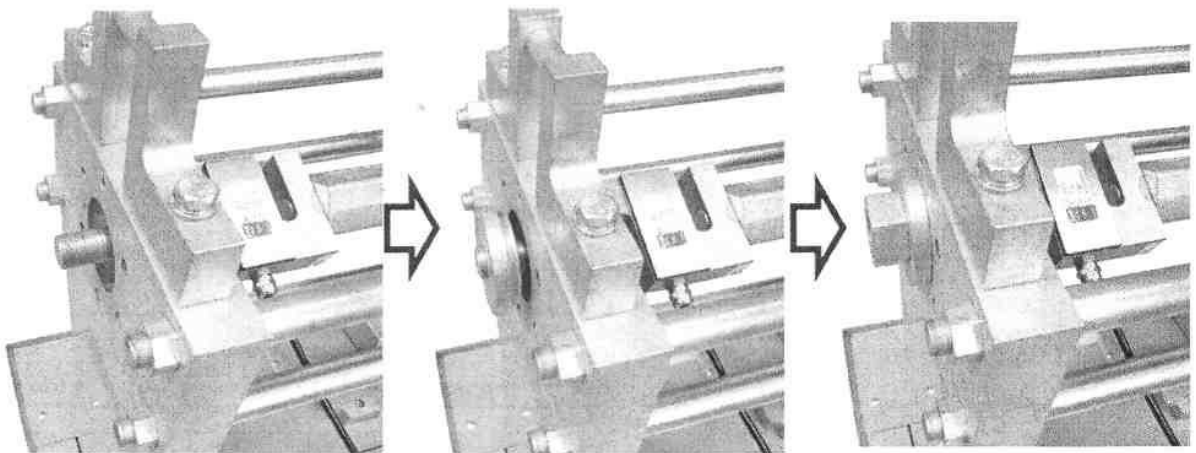


Сурет 75 - Гидроцилиндрді орнату

2. Күш өлшегішті (50 кН) бекітпесімен стендтің күш түсіретін рамасына орнатады (сурет 76), гайкаларын қолмен бұралады.

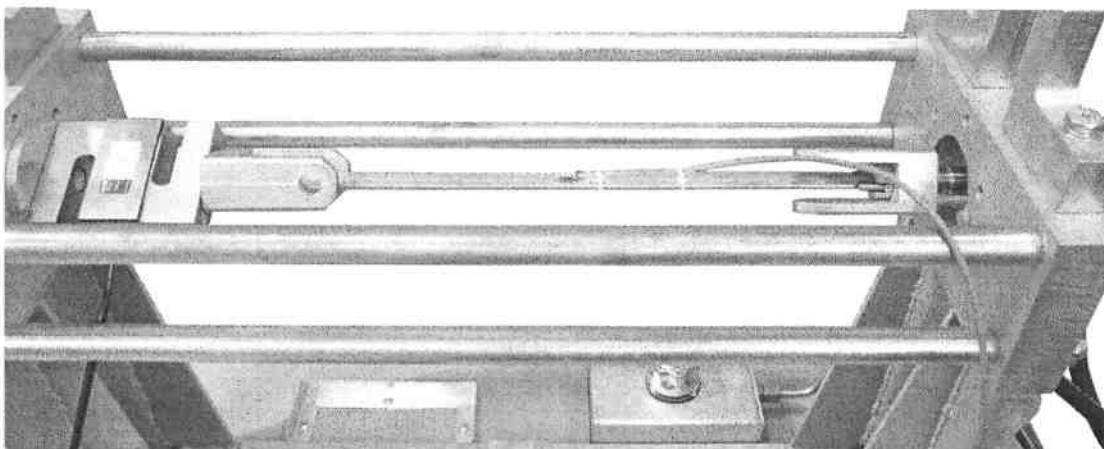


Сурет 76 - 50 кН күш өлшегіш бекітпесімен



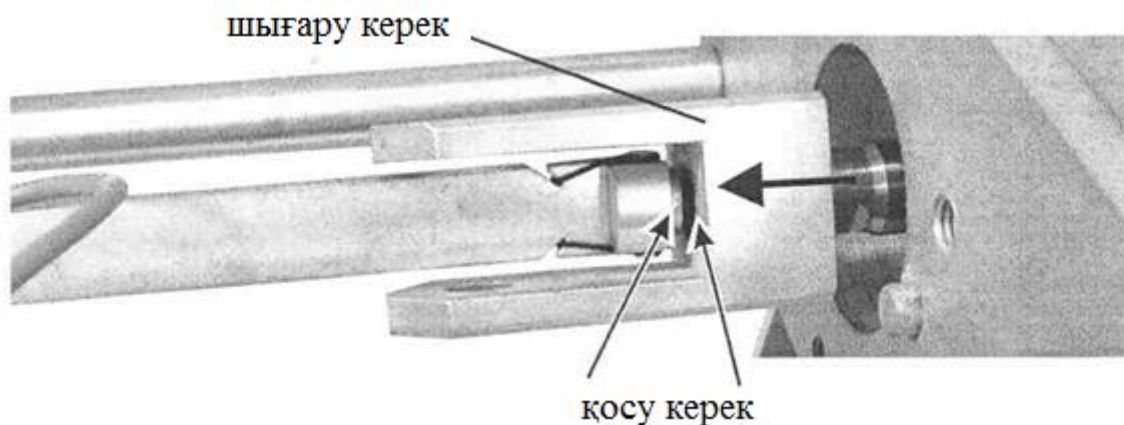
Сурет 77 - 50 кН күш өлшегішті құрастыру (монтаж)

3. Үлгінің енін  $b$  және қалыңдығын  $t$  өлшеп, оның қимасының ең кіші инерция моментін есептеп шығарып  $J_x$ , кесте 1 жазып алады.
4. Сурет 78 көрсетілгендей үлгіні орнына қояды. Гидроцилиндрді насоспен жылжытып, үлгіні тіректерге орнатылатындай етіп (үлгі резинадан жасалған шеңбермен бекітілген) гидроцилиндрдің табанындағы вилкасының және күш өлшегіштің ортасына қояды.



Сурет 78 - Зертханалық жұмысты жүргізетін стендті құрастыру.

5. Үлгіні қосымша (промежуточный) тіректер арқылы күш өлшегіштің вилкасына орналастырады. Осыдан кейін екінші қосымша тіректің өсін гидроцилиндрдің вилкасының өсімен сәйкестендіреді. (сурет 79) және гидроцилиндрді жылжытып цилиндр тәрізді төмпешікке, вилканың тесігіне жақындатып орнатады.



Сурет 79 - Үлгіні гидроцилиндрдің вилкасына орнату

6. Үлгіде орнатылған күш өлшегішті (50 кН) тензодатчиктерді өлшейтін және аударғыш энергия көздеріне қосады.
7. Пунктер 3-5 орындалады.
8. Бағдарламада меню «тензометрирование» таңдап алады.
9. Флажокты пункт «устойчивость» қояды. Бағдарламада көрсетілетін деформацияның шамасы (тензорезистордағы) тұрақтағанша шамалы күте тұрады, 10-15 мин.
10. Программада «балансировать деформации» кнопкасын басады.
11. Крандарды гидроцилиндрдің штогі шығатындай жағдайға келтіреді.
12. Үлгіге насостың тұтқасын сағат тіліне қарсы айналдырып жүктеме түсіре бастайды. Жүктемені 0,1 кН дейін көтереді. Күшті бағдарлама «МКН өлшеу» бойынша бақылайды.
13. Бағдарламада «добавить текущие значения» кнопкасын басып, ағымдағы күшті және деформацияны графикке түсіреді.
14. Деформация күрт өсіп және  $600 \times 10^{-6}$  аспайынша п.п. 12-13 орындай береді. Үлгіге одан әрі жүктеме түсіруге болмайды, **қатаң ескертіледі**. Өйткені әрі қарай материалда пластикалық деформация пайда болуы мүмкін.
15. Крандарды горизонталь жағдайға келтіріп, үлгіден жүктемені алады.
16. Крандарды гидроцилиндрдің штогі тартылатын жағдайға келтіреді.
17. Насостың тұтқасын айналдыра отырып гидроцилиндрді үлгі босағанша жылжытады. Босатқанда үлгіні қолмен ұстап тұрған жөн. Үлгі алынады.
18. Гидроцилиндрді, күш өлшегішті, және олардың элементтерін жәшікке, стендке орындарына салады. Құрылғыны энергия көздерінен алады. Бағдарламадан шығады.
19. График «деформации - сила» бойынша орнықтылықты жоғалтатын күштің шамасын анықтайды, кесте 12 жазылады.

20. Эйлердің формуласымен дағдарыс күшін анықтайды, кесте 13 жазылады Табылған мәндерін салыстырады. Қортынды жасалады.

Кесте 12 - Үлгінің геометриялық параметрлері

$t$ , мм	$b$ , мм	$l$ , мм	$J_x$ , мм <sup>4</sup>

Кесте 13 - Сынақ хаттамасы

Тәжірибе бойынша алынған орнықтылық жоғалтатын жүктеме, Н	Эйлер формуласы бойынша бірінші дағдарыс күші, Н

## 2.10 Зертханалық жұмыс №10.

### Жұқа қабырғалы жабық емес профильдің иілу орталығын анықтау.

Жұмыстың мақсаты: Жұқа қабырғалы жабық емес профильдің иілу орталығын тәжірибеде анықтау.

#### Теориялық негіздер.

Көп тараған жұқа қабырғалы жабық емес профильдерге негізінен прокатты профильдер, балқытып біріктірілген арқалықтар және т.б. жатады [6]. Профильдің қалыңдығы  $\delta$  (көлденең қимасының қабырғасының қалыңдығы) қиманың басқа мөлшерлеріне қарағанда өте аз мөлшерде. Жұқа қабырғалы сырықтарда (ашық профильдерде) осыған дейінгі бұралу және иілу модельдері бойынша есептеуге болмайтын жағдайлар туады.

Қиманың жазықтығында жататын жүйелік күштер механиканың заңы бойынша жазықтықта кез келген нүктеден қортынды (результитрующая) күшке және моментке келтіруге болады [1].

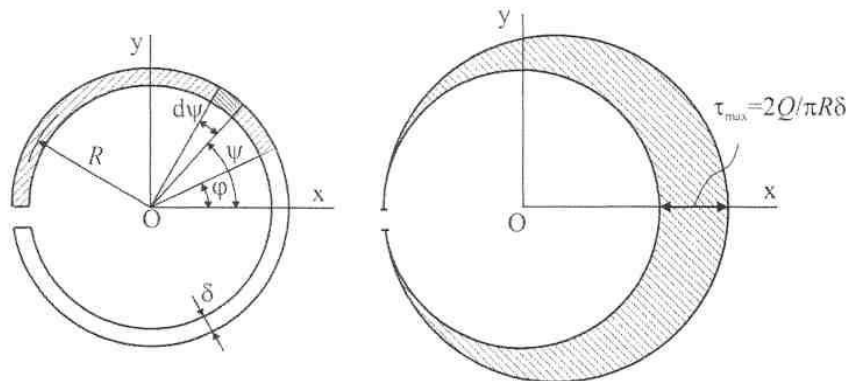
Қортынды күштің шамасы келтірілген нүктеге тәуелді емес, барлық жағдайда көлденең күшке  $Q$  тең. Жабық емес шеңбер (дөңгелек) типтес профильде (сурет 80) жазықтықтағы симметрия өсіне перпендикуляр жанама күштер тең:

$$\tau = \frac{Q}{\pi R^2 \delta} (1 + \cos\varphi), \quad (44)$$

Ось  $y$  бойынша жанама күштер мына интеграл арқылы анықталады:

$$\int_A \tau \cos\varphi dA = \frac{Q}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} (1 + \cos\varphi) \cos\varphi d\varphi, \quad (45)$$

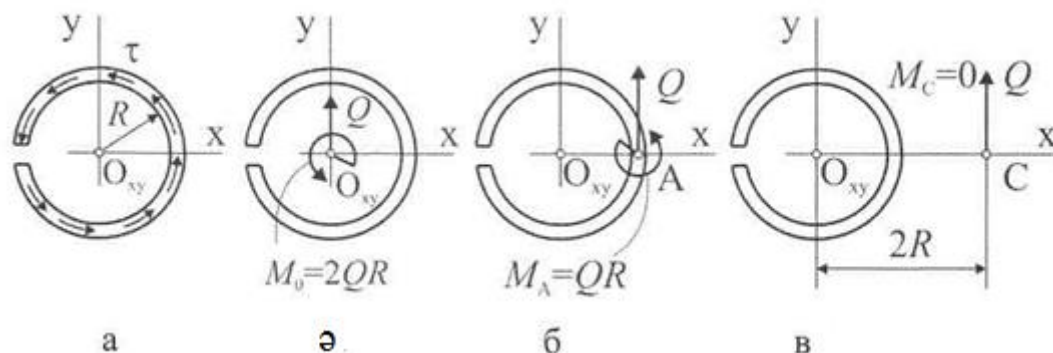
осыдан  $Q$  оңай табуға болады.



Сурет 80 - Көлденең иілу кезіндегі жабық емес профильдегі жанама күштер.

Қимадағы қортынды момент нәтижеге келтіруші нүктеге тәуелді. Мысалы жабық емес дөңгелек профильдегі шеңбердің ортасынан алғандағы жанама күштің моменті (сурет 81) мынаған тең:

$$M_0 = \int_A \tau R dA = \frac{QR}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} (1 + \cos\varphi) \cos\varphi d\varphi = 2QR.$$



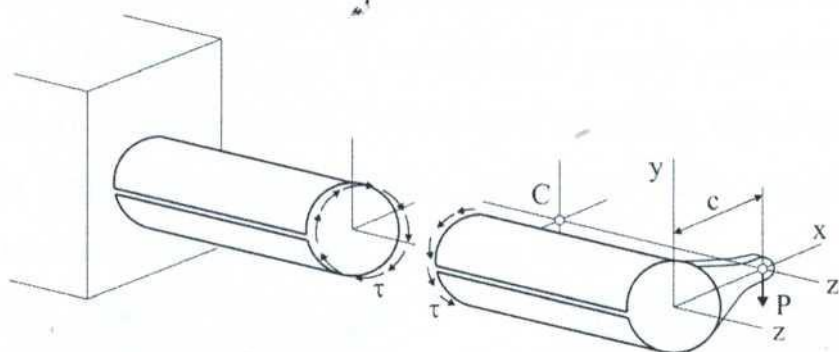
Сурет 81 - Қортынды күштерді нүктелерге келтіру

Басқа нүктеге келтіргенде момент  $Qa$  өзгереді, мұнда  $a$  – бірінші нүктеден екінші нүктеге дейінгі қашықтық. Мысалы, егер күштерді А нүктесіне келтірсе (сурет 2.10.26), онда:

$$M_A = M_0 - QR = QR. \quad (46)$$

Көлденең иілгенде қиманың жанама күштері нөлге тең болатын нүкте бар. Бұл нүкте *иілу орталығы* деп аталады. Қарасатырып отырған жағдайда *иілу орталығы* шеңбердің ортасынан  $2R$  қашықтықта орналасады (сурет 81в). Екі симметрия өсі бар қимада *иілу орталығы* ауырлық центрімен сәйкес. Егер қиманың жанама күштері нөлге тең болатын болса, онда сыртқы күштердің иілу орталығынан алынған моменті де нөлге тең болуға тиіс. Басқаша айтқанда арқалықта пайда болатын деформациялар тек қана көлденең иілуге тән емес, бұралуға да тән деформация болады.

Сондықтан ішкі күштер факторларын анықтағанда қимадағы жанама күштерді ауырлық орталығына А келтірмей, иілу орталығына келтірген дұрыс. Яғни *бұралу моментін* иілу орталығынан алынған *ішкі момент* деп түсіну керек. Мұны 82 суретте көрсетілген сырықтан көруге болады.



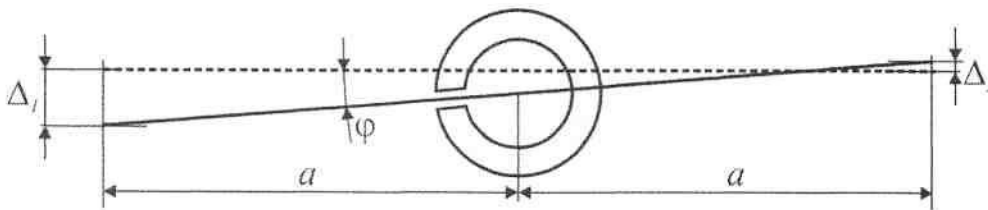
Сурет 82 – Иілу орталығы

Күштің әсері ось  $z'$  (иілу орталығы) арқылы өтетін болғандықтан, қимадағы бұралу моменті нөлге тең, сондықтан сырық бұралмайды.

*Тәжірибелік бөлім.*

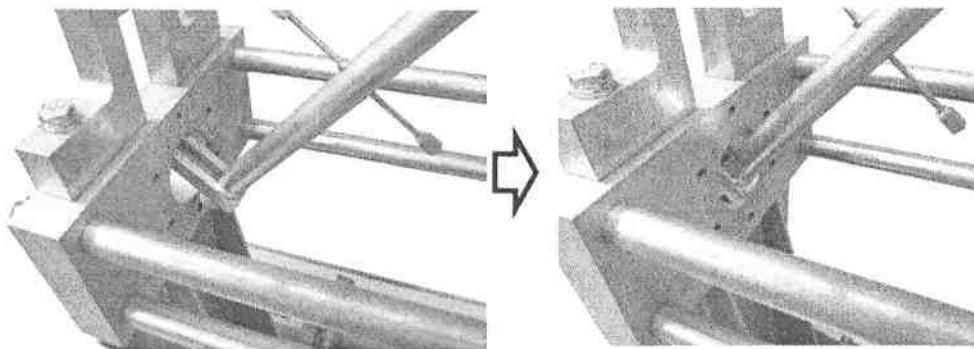
Тәжірибеде иілу орталығын былай анықтауға болады: күш  $P$  ось  $x$  ( $s$  қашықтығы) (сурет 82) бойымен жылжытып, қиманың бұралу бұрышын бақылайды. Егер күш иілу орталығына түссе, онда сырық бұралмайды, яғни кез- келген қиманың бұралу бұрышы нөлге тең болады. Егер бұралып тұрған трубаға радиалды (радиус бойынша) жіңішке сырықты бекітіп қойса (сурет 83), онда аз-ғана бұралғанда бұралу бұрышының шамасы төмендегі формуламен анықталады:

$$\varphi = (\Delta_1 - \Delta_2)/2a \quad (47)$$



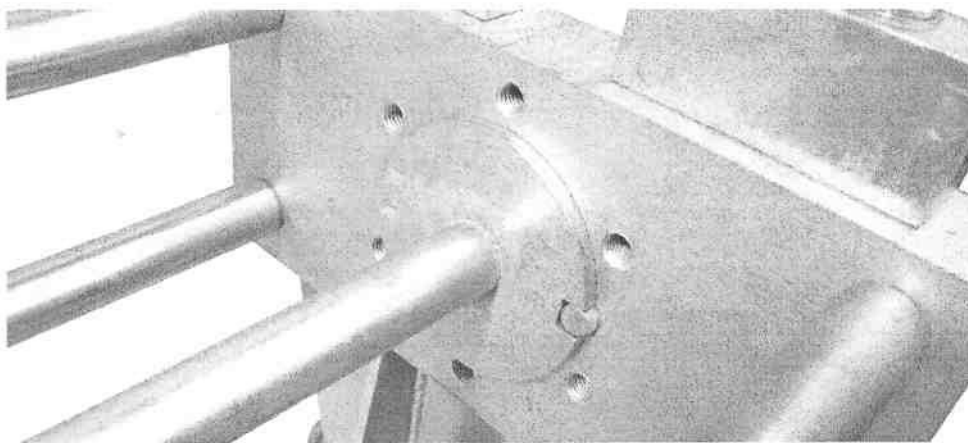
Сурет 83 – Бұралу бұрышын анықтау

Егер бұрыш  $\varphi$  қашықтық  $s$  тәуелділігі графигін сызсақ, онда осы графигтің нөлмен қиылысу нүктесі  $s$ -нің иілу орталығына тең мәнін көрсетеді. 1. Иілу орталығын анықтайтын үлгіні орнына қояды. Ол үшін үлгіні вертикаль (сурет 84) жазықтықта қисайтып, жүк ілгішті төменге келтіреді. Осыдан кейін үлгіні сол жақ тірек плитадағы тесікке орнатады. Енді үлгіні сол жаққа итеріп, содан кейін оны оң жақ тірек плитаға орнатады, тірек плитадағы пазды штифтімен сәйкестендіріп (сурет 85).



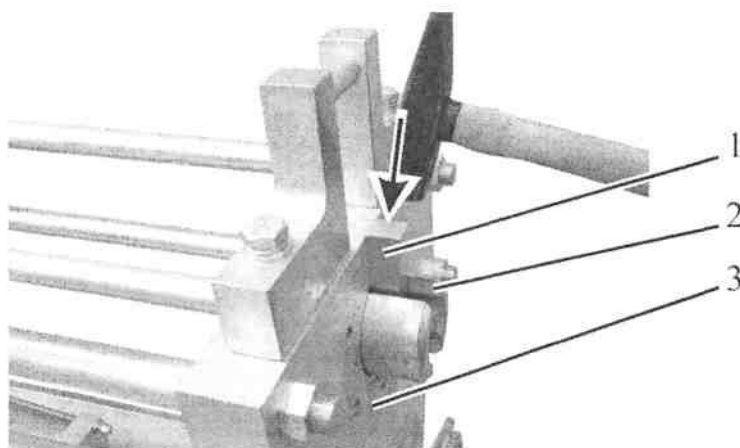
Сурет 84 – Үлгіні сол жақтағы тірек плитасына орнату





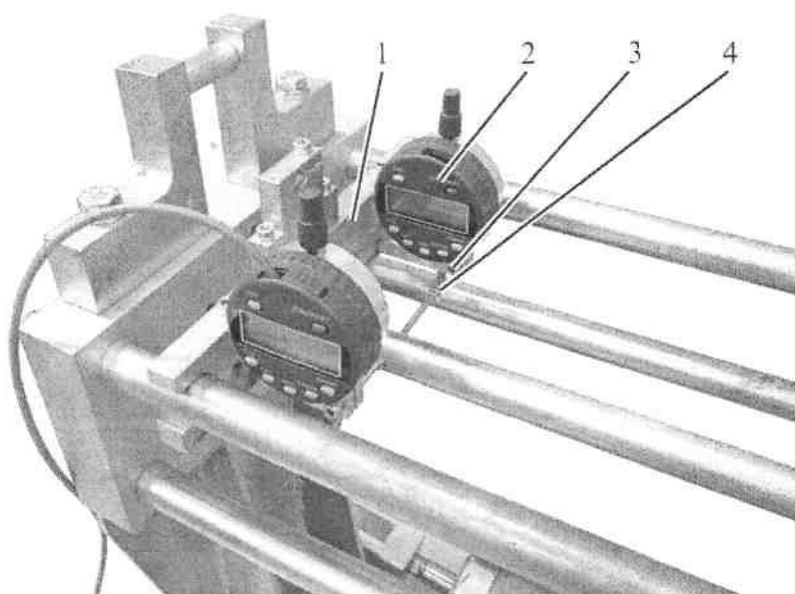
Сурет 85 – Үлгіні оң жақ тірек плитасына орнату

2. Үлгінің бекітпесін оң жақ тірек плитаға орнатады (сурет 86). Сына түрдегі тіректі 1 бекітпедегі 2 пазға өсыпен тірек плитаның 3 ортасындағы. Сына түріндегі тірек күш түсіретін рамаға жақсы отыру қажет, бекітпенің үстінде және астында. Содан кейін жеңіл балғамен (0,1 кг) сынаны стрелканың бағытымен ұрып бекітеді (сурет 86).

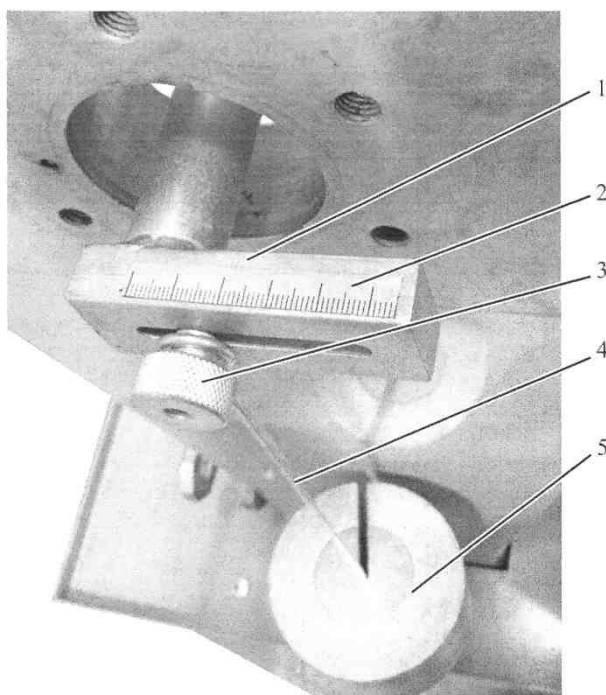


Сурет 86 – Үлгіні сына түріндегі тірекпен бекіту

3. Микрометрдің 1 модулін (сурет 87) кронштейннің 3 тесігіне келтіріп, тіректің үстінде тұратындай етіп орнатады (керек болған жағдайда кронштейнді көрші тесікке модуль 5 жылжытып қояды). Микрометр 2 кронштейнге 3 орнатып, винтпен бекітіп қояды. Осындай жұмыстарды екінші микрометр үшін де жүргізеді.



Сурет 87 – Микрометрлерді орнату



Сурет 88 – Жүктемелерді орнату

4. Жүк ілгішті 4 (сурет 88) фиксатормен 3 бекітеді.
5. Фиксаторды 3 (сурет 88) үлгінің өсінен 0 мм қашықтықта орналастырады. Қашықтықты жүк түсіретін құрылғыда 1 келтірілген сызғышпен 2 өлшейді. Сызғыштың ең үлкен бірінші белгісі үлгінің өсіне сәйкес.
6. Микрометрдің көрсеткішін нөлге елтіреді «0», кнопка «zero» басып.
7. Үш жүктеме (сурет 88) массасы 1 кг жүк көтерішке 4 салады.
8. Микрометрдің көрсеткіштерін  $\Delta_1$  және  $\Delta_2$  кесте 14 жазып алады.

9. Жүк ілгіштен жүктемелерді алады, фиксаторды 3 босатады, оны 3-6 мм жылжытады.

10. Фиксаторды оң жаққа ауыстырғанша пункттер 7-9 жұмыстарды орындайды.

11. Кесте 14 көрсеткіштері бойынша  $\varphi(c)$  (нүктелердегі) тәуелділігінің графигін сызады, ең кіші квадрат әдісімен алынған нүктелер арқылы тура түзу жүргізеді. Түзудің абцисса өсімен қиылысқан нүктесі үлгінің өсінен иіліу орталығына дейінгі қашықтыққа тең (графиктерді және түзу сызықты жүргізу Excel- мен немесе басқа программалармен жүргізеді).

12. Анықталған шаманы, үлгінің орташа диаметріне тең теориямен, салыстырыңдар. Қортынды жасаңдар.

*Қосымша көрсеткіштер:*

*Үлгінің өсінен микрометрге тірелген жерге дейінгі ұзындық  $a = 60$  мм.*

*Үлгінің сыртқы диаметрі  $D = 22$  мм.*

*Үлгінің ішкі диаметрі  $d = 18$  мм.*

Кесте 14 - Сынақ хаттамасы

$c, \text{ мм}$	$\Delta_1, \text{ мм}$	$\Delta_2, \text{ мм}$	$\varphi = (\Delta_1 - \Delta_2)/2a$

## 2.11 Зертханалық жұмыс №11.

### Созылуда тұрған жолақ темірдегі тесіктің айналасында жинақталған кернеуді тәжірибеде бағалау.

Жұмыстың мақсаты: созылып тұрған жолақ темірдегі тесіктің айналасында кернеудің орналасуын тәжірибеде зерттеу.

#### *Теориялық негіздер.*

Серпімді денеде кездесетін күрт өзгерістер (бұрыштар, тесіктер, кесілген жерлер) олардың бойында, сонымен қатар бөлшектердің жанасу беттерінде жоғары деңгейдегі кернеулердің пайда болуына әсер етеді.

Мысалы кішкене тесігі бар жолақ темірді созғанда (сурет 90 а) тесікке жақын жердегі кернеудің орналасу заңдылығы бұзылады. Кернеулік күй екі өьстік болады, ал тесіктің айналасында ең үлкен кернеу орналасады. Кернеудің бұлай орналасу ерекшелігі *кернеудің жинақталуы(концентрация напряжений)* деп аталады . Жинақталған кернеудің бұлай орналасуы шекті, кернеу негізінен тесіктің айналасында орналасады. Кернеудің осылай бір аймақта орналасуын *жергілікті кернеу* деп атайды.

Жергілікті кернеудің шамасы дененің геометриялық формасына байланысты математикалық серпімділік теориясы бойынша анықталады. Сонымен қатар, жергілікті кернеуді анықтағанда модельдерді сынақтан өткізу әдісі де қолданады.

Жергілікті кернеудің негізгі көрсеткіші болып *теориялық кернеу жинақталуын (концентрациясын) көрсететін коэффициент*:

$$k_T = \frac{\sigma_{\text{MAX}}}{\sigma_{\text{НОМ}}}, \quad (48)$$

мұнда  $\sigma_{\text{MAX}}$  – ең үлкен жергілікті кернеу,

$\sigma_{\text{НОМ}}$  – номиналды кернеу.

Бұл *жинақталу* әсерін есепке алмай материалдар кедергісі пәнінде анықталатын коэффициент. Әдетте  $\sigma_{\text{НОМ}}$  бөлшектің беріктігі төмен қимасында есептеледі , мысалы, АА қимасы (сурет 90а):

$$\sigma_{\text{НОМ}} = \frac{F}{A_{AA}}. \quad (49)$$

Номиналды кернеу есептің ең қарапайым түрінен таңдап алынады. Теориялық жинақталған коэффициент шамасы тәжірибеде жиі қолданатын типтік конструктивті элементтерден алынады.  $K_T$  шамасы туралы деректер көптеген кестелерде, графиктерде, анықтамалық әдебиеттерде бар.

Сурет 90б кернеудің теориялық жинақтау коэффициенті тесігі бар жолақ темірдің геометриялық мөлшерлеріне тәуелді екенін көрсетеді.

Үлгінің нүктелеріндегі кернеуді тәжірибеде тензометрия әдісімен анықтайды. Сурет 91 тензорезистор орнатылған үлгінің бір бөлігі және тәжірибеде қолданатын белгілер көрсетілген.

92 және 93 суреттерде тік кернеулердің үлгінің өсі бойынша орналасуы  $d/b=1/5$  болғанда көрсетілген. 94 суретінде үлгінің  $Z$  өсі бойымен тесіктің ортасынан бастап кернеудің орналасуы берілген, сурет 93 суретте ось тесіктің ортасынан бастап  $X$  өсі бойымен, 94 суретінде  $X$  өсі бойымен, тесіктің ортасынан бастап.

Сыртқы күш  $P$ –тің әсерінен негізгі қимадағы кернеудің шамасы :

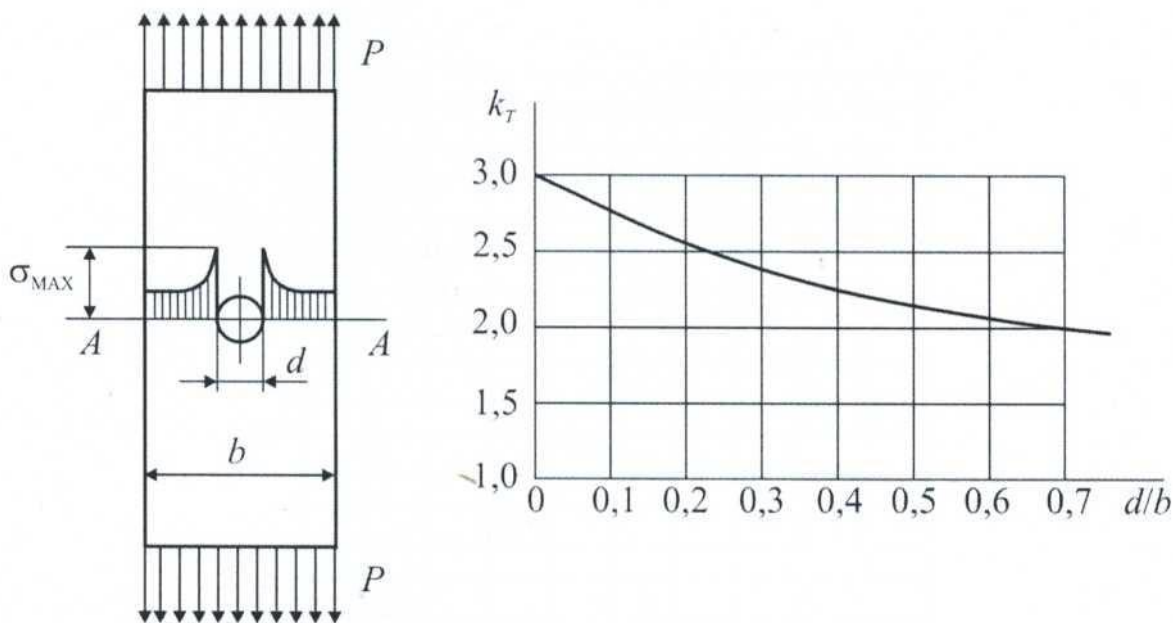
$$\sigma_{\text{НАГ}} = \frac{F}{bt}, \quad (50)$$

мұнда  $b$  – үлгінің ені,

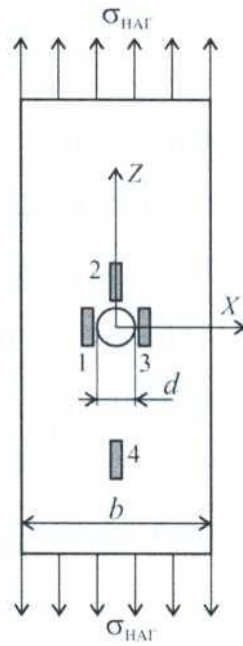
$t$  – үлгінің қалыңдығы:

Беріктігі төмен қимадағы номиналдық кернеу:

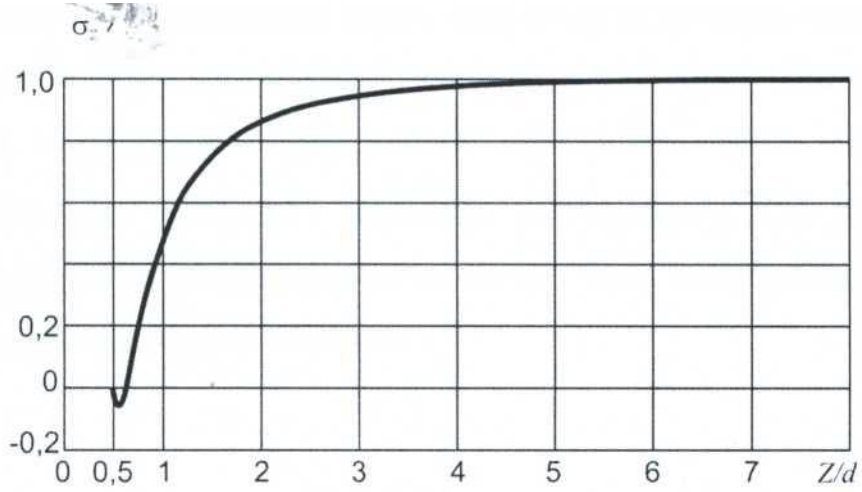
$$\sigma_{\text{НОМ}} = \frac{F}{(b-d)t} = \sigma_{\text{НАГ}} \frac{b}{b-d}. \quad (51)$$



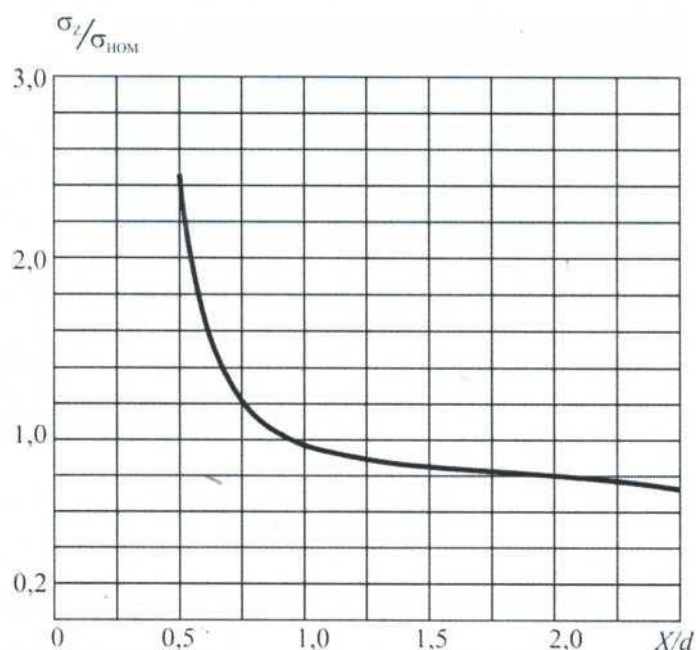
Сурет 89 - Тесіктің жанында кернеудің жинақталуы



Сурет 90 - Тензорезистордің орналасуы



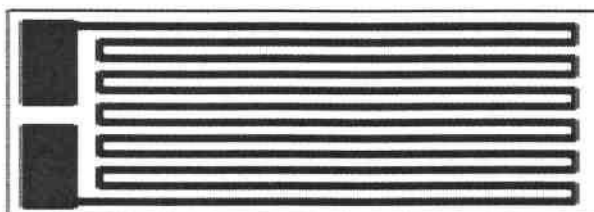
Сурет 91 - Үлгінің Z өсі бойынша тік кернеудің орналасуы



Сурет 92 - Үлгінің  $X$  өсі бойынша тік кернеулердің орналасуы

Жүктеме түсіп тұрған денелерде тензометрия әдісі тензорезистор орналасқан нүктелерде деформацияның шамасын анықтайды.

Тензометрия әдісінде үш тензорезистор қолданады. Тензорезистор - ток кедергісі деформацияға тәуелді датчик. Тензорезисторлер жұқа қабыршақтан (пленкадан) немесе ток өткізгіш материалдан жасалады (сурет 93). Олардың арасында ток өткізбейтін материал орналасады. Универсал тензорезистордың құрылысы мынадай: жұқа фольга тәріздес (қалыңдығы 5-6 мкм) жұқа пластмасса негізге (қалыңдығы 15-16 мкм) отырғызылады және жұқа ламинатпен қапталады. Тензорезистордың шетінде сыртқы ток сымдарымен қосатын орын қалдырады. Тензорезисторлер конструкцияға клеймен жабыстырылады, олардың қаттылығы конструкцияның қаттылығынан әлдеқайда аз. Конструкцияға жүктеме түсіргенде деформация тензорезисторға желім (клей) арқылы беріледі, бұл деформацияны өлшеуге мүмкіндік береді. Гук заңы бойынша конструкцияның серпімді алқабында деформация арқылы кернеуді анықтауға болады.



Сурет 93 - Тензорезистордің мысалы

Тензорезистордің кедергісінің өзгеруі деформацияға пропорционал:

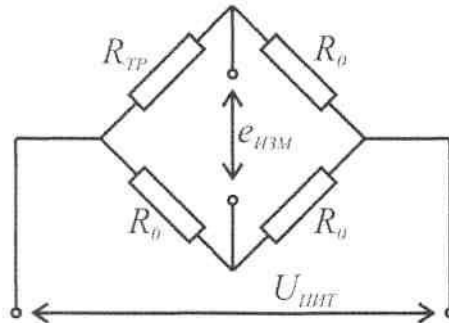
$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \varepsilon \quad (52)$$

мұнда  $K$  – тензоанықтағыш (тензочувствительность) коэффициент,

$R$  – тензорезистордің ток күшіне номиналды кедергісі.

Тензорезистордің кедергісін өлшеу үшін мост Уинстон ток схемасын қолданады. Тензорезистор  $R_{TP}$  және кедергілері тензорезистордің номиналды кедергісіне тең үш резисторларды  $R_0$ , мостқа қосады (сурет 95) және тұрақты ток көзіне қосып, кернеуді өлшеп алады  $U_{ПИТ}$ . Деформацияға түспей тұрған тензорезистордің қарсыласуы  $R_T$  тең  $R_0$ , ал  $U_{ИЗМ}$  нөлге тең. Деформацияға түскен тензорезистордің кедергісі өзгереді, ал  $U_{ИЗМ}$  нөлге тең емес:

$$U_{ИЗМ} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot U_{ПИТ} = \frac{1}{4} \cdot K \cdot \varepsilon \cdot U_{ПИТ}. \quad (53)$$



Сурет 94 - Тензорезисторді қосу сызбасы.

Тензорезистордан шығатын кернеу  $U_{ИЗМ}$  тензоусилительге беріліп, өлшегіш құралға жеткізіледі. Тәжірибедегі сынақ машинасында өлшегіш құрал ретінде плата АЦП және ноутбук қолданады. Өлшенген электр кернеуі бағдарлама программа «МКН өлшеуге» беріліп деформацияға аударылады:

$$\sigma = \frac{4 \cdot U_{ИЗМ}}{K \cdot U_{ПИТ}} \quad (54)$$

Деформация мен кернеуді тензорезистр арқылы өлшеудің ерекшелігі мынада: Тензорезистрдің нақты нақты өлшеу базасы (мөлшерлері) бар, яғни ол конструкцияның өлшенген бөлігіндегі (зонасындағы) деформациясын орта есеппен береді. Сондықтан тәжірибелік бөлімде тензометрлеу әдісімен анықталған деформацияларды теориялық түрде анықталған (тензорезистрдің ені және ұзындығын орташа мәндерін есепке алып) деформациямен салыстырады.



## Тәжірибелік бөлім

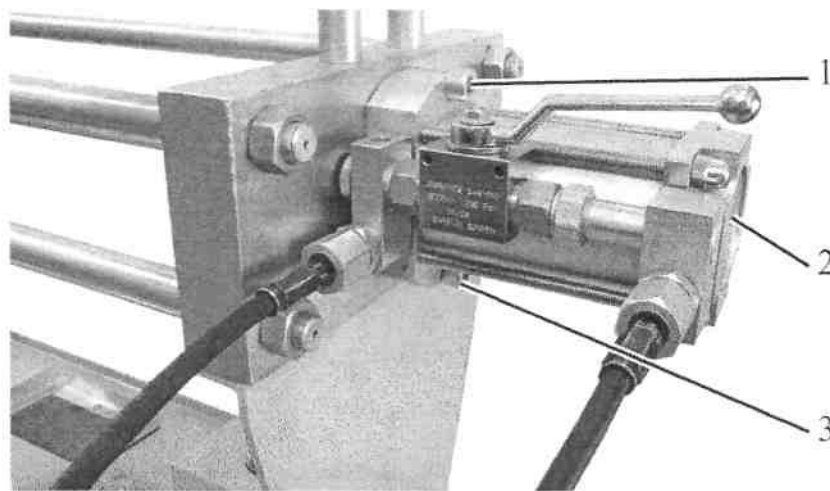
Үлгінің геометриялық параметрлері: Үлгінің қимасы тік бұрышты ені  $b = 50$  мм, қалыңдығы  $t = 4,0$  мм ортасында диаметрі  $d = 10$  мм тесік бар. Тензорезисторлар үлгіге желімдеп жапсырылып қойған. Тесіктің ортасынан тензорезистордың торына (решеткасына) дейінгі қашықтық:

№1 – ось  $X$ - бойында тензорезистордың орталығы тесіктің ортасымен сәйкес; ось  $Z$  – бойында минималды 38 мм, максималды 43 мм;

№2, 4 – ось  $X$  – бойында минималды 5,8 мм, максималды 7,3 мм; ось  $Z$  – бойында тензорезистордың ортасы тесіктің ортасымен сәйкес;

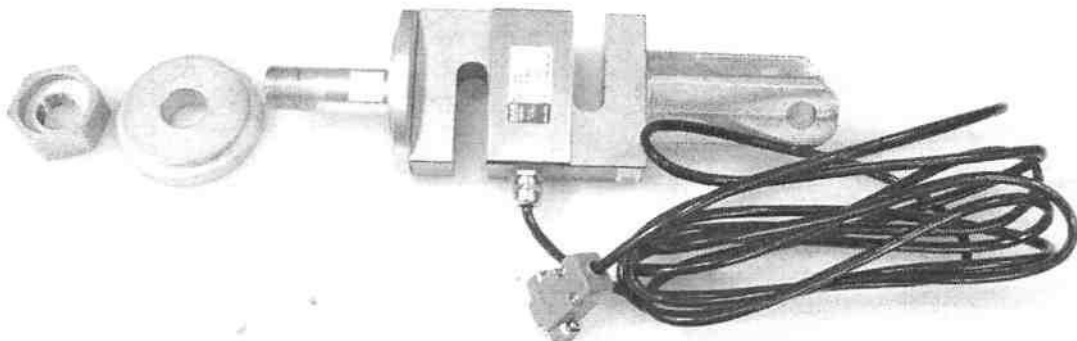
№3 – ось  $X$  бойында тензорезистордың ортасы тесіктің ортасымен сәйкес; ось  $Z$  – бойында минималды 6,0 мм, максималды 11,0 мм.

1. Гидроцилиндрді 2 стендтің күш түсіретін рамасына винттер 1 және 3 бұрап орнатады.

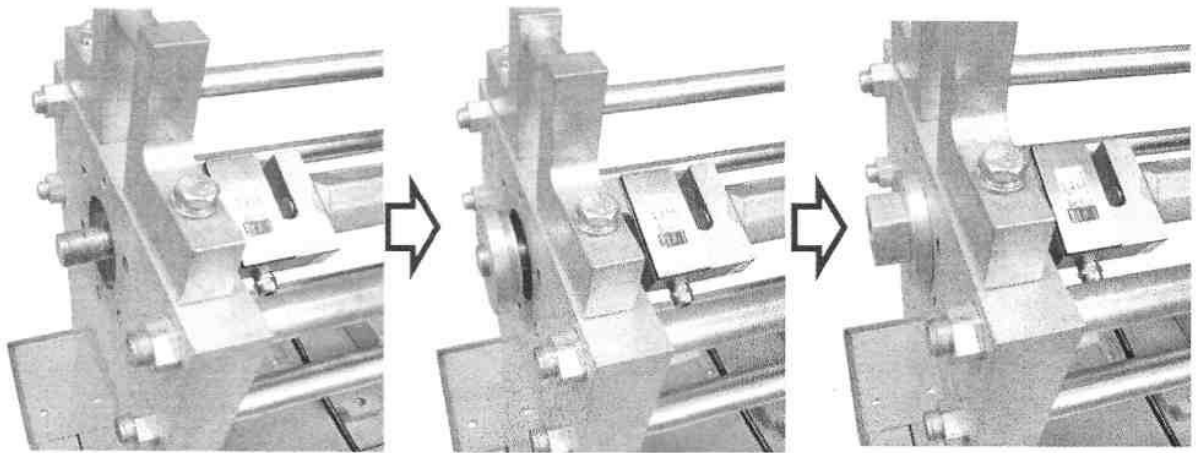


Сурет 95 - Гидроцилиндрді орнату.

2. 50 кН күш өлшегішті бекітпесімен (сурет 96) стендтің күш түсіретін рамасына орнатады гайкаларды қолмен бұрайды.

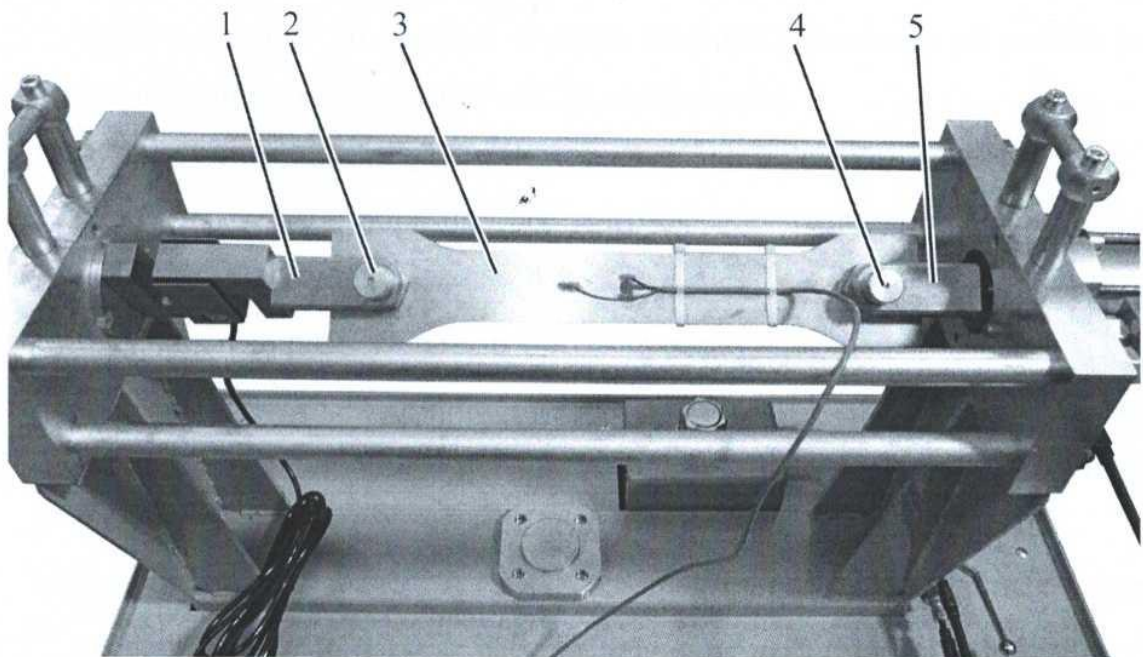


Сурет 96 - 50 кН күш өлшегіш бекітпесімен



Сурет 97 - Күш өлшегішті (50 Кн) құрастыру.

3. Үлгіні орнату сурет 98 көрсетілген. Үлгіні сол жағымен вилкаға 1 палец 2 арқылы орнатады. Осыдан кейін гидроцилиндрді үлгіні палец 4 вилкаға 5 орнатуға болатындай етіп жылжытады. Насоспен жұмыс 5-8 пп. жазылған. Қажет болса вилканы 5 бұрып келтіреді. Гидроцилиндрдің вилкасын сағат тілімен айналдырады, вилка жағынан қарағанда.



Сурет 98 - Зертханалық жұмысты жүргізетін стенді құрастыру.

4. Күш өлшегіштің (50 кН) клеммасын тензодатчиктегі өлшегіш-аударушы блокка қосады.
5. Пунктер 3-5 орындайды.
6. Бағдарламадан мәзір (меню) «тензометрирование» таңдап алады.
7. Флажокты «концентрация напряжений» пунктіне қояды. Деформация тұрақты қалпына келмейінше (тензрезистор бойынша) күте тұру қажет, 10-15 мин.



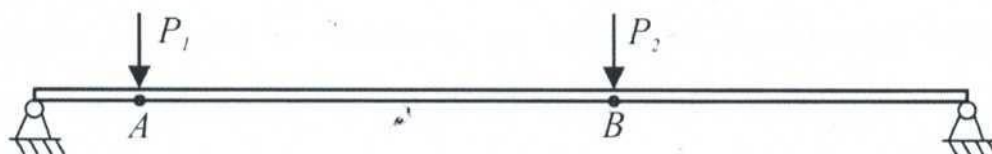
## 2.12 Зертханалық жұмыс № 12

### Жұмыстардың өзара ауыстырымдылық теоремасы.

Жұмыстың мақсаты: Екі июші күштің әсерінде тұрған серпімді сырықты ию арқылы жұмыстың өзара ауыстырымдылығы теоремасын тәжірибеде тексеру

*Теориялық негіздер .*

Серпімді денені екі күшпен  $P_1$  және  $P_2$  жүктегенде (А және В нүктелерінде, (сурет 100) күштердің жұмысын екі әдіспен есептеуге болады.



Сурет 99 - Сырық серпімді жүктеме жағдайында

Нұсқа1 (вариант1). Денеге  $P_1$  күш түскенде, оның жұмысы тең  $1/2 P_1 \times \delta_{A1}$ ; күш  $P_2$  түскенде оның жұмысы тең  $1/2 P_2 \times \delta_{B2}$ , сонымен қатар,  $P_2$  күшінің әсерінен А нүктесі орын ауыстырады, яғни күш сонымен  $P_1$  қосымша жұмыс істейді  $F_1 \times \delta_{A2}$ ; мұнда  $\delta_{ij}$ – нүкте  $i$  күш  $j$  әсерінен орын ауыстыруы. Толық жұмыс осы үш жұмыстың сомасына тең:

$$1/2 P_1 \times \delta_{A1} + 1/2 P_2 \times \delta_{B2} + P_1 \times \delta_{A2}, \quad (55)$$

Нұсқа 2. Алдымен денеге күш  $P_2$  әсер етіп тұр дейік, онда оның жұмысы тең  $1/2 P_2 \times \delta_{B2}$ . Егер оған күш  $P_1$  әсер ететін болса онда оның жұмысы  $1/2 P_1 \times \delta_{A1}$  болады. Сонымен қатар күш  $P_1$  әсерінен В нүктесі орын ауыстырады, яғни күш  $P_2$  қосымша жұмыс істейді  $P_2 \times \delta_{B1}$ . Мұнда  $\delta_{ij}$  нүкте  $i$  күш  $j$  әсерінен орын ауыстыруы.. Күштер  $P_1$  және  $P_2$  толық жұмысы осы екі жұмыстың қосындысына тең:

$$1/2 P_1 \times \delta_{A1} + 1/2 P_2 \times \delta_{B2} + P_2 \times \delta_{B1}. \quad (56)$$

Серпімді денеге 2 әсер етуші жұмыс күштердің денеге қандай кезекпен әсер етуіне тәуелді емес, сондықтан:

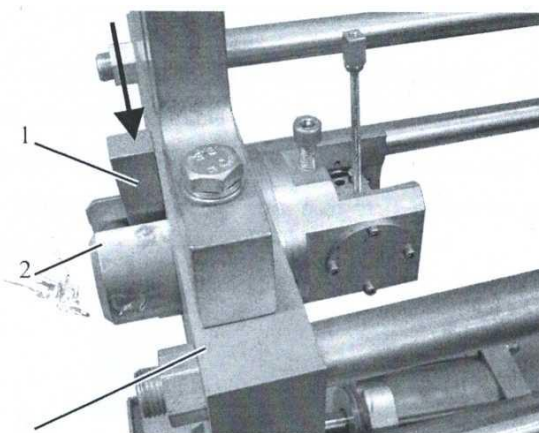
$$P_1 \times \delta_{A2} = P_2 \times \delta_{B1}. \quad (57)$$

Бұл өрнекті былай деп тұжырымдауға болады: бірінші күш түсіп тұрған нүктенің екінші күштің әсерінен орын ауыстыруы - екінші күш түсіп тұрған нүктенің бірінші күштің әсерінен орын ауыстыруына тең.

### Тәжірибелік бөлім.

1. Күш түсіретін раманың оң жақтағы тірек плитасына 3 иілуге сынайтын бекітпені 2 орнатады (сурет 100). Ол бекітпені плитаның орталық тесігіне орнатады. Бекітпедегі паз плитадағы штифтімен дәл келіп, бекітпе плитаның ішкі бетімен қатты айқасу керек. Бекітпенің өсі мен тірек плитаның ортасына сына түріндегі тіректі 1 бекітпенің пазына отырғызады.

Сыналы (клинді) тірек дұрыс орналасқанына бақылап (ол бекітпенің екі жағынан шығып тұру керек), оны жеңіл балғамен (0,1 кг) стрелканың бағытымен сәл ұрып орнату қажет, 3.5 суретте көрсетілгендей (сурет 100).

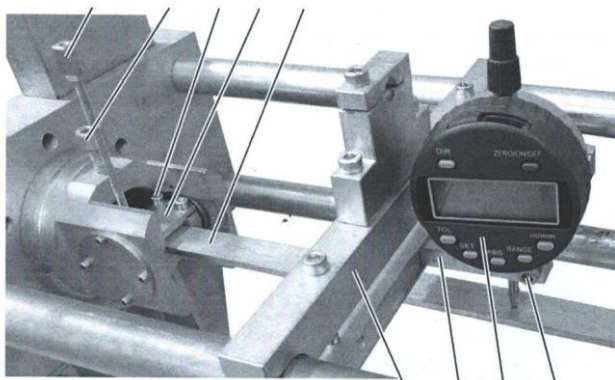


Сурет 100 - Иілуге сынайтын бекітпе

2. Күш түсіретін раманың сол жақ плитасына иілуге сынайтын бекітпені орнатады (пункт 1 сияқты).

3. Үлгінің енін және қалыңдығын өлшейді, қиманың инерция моментін есептейді  $J_x = t \cdot h^3 / 12$ , көрсеткіштерді кесте 16 жазады.

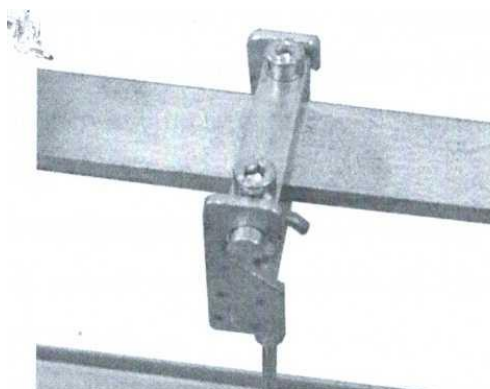
4. Үлгіні 5 бекітпеге орнатады (сурет 101). Ол үшін винт 3 босатып үлгіні пластинаның 4 астына орнатады. Үлгіні бекітпеге орнатып, қарсы жақтағы бекітпеге үлгіні орнатады.



Сурет 101 - Үлгіні орнату

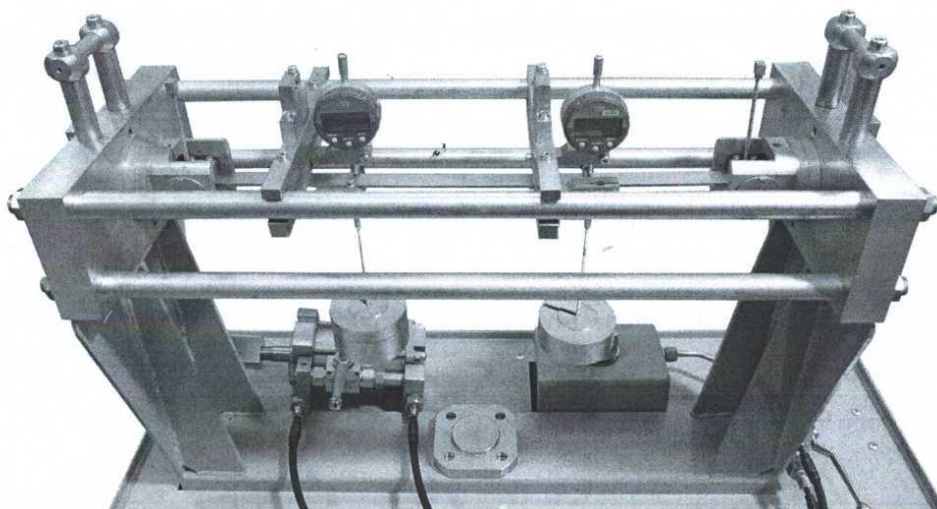


5. Жүктеме қойылған үлгінің бойында екі нүкте А және В белгілеп алады. А белгіленген нүктелерде жүк ілгіштерді орнатады (сурет 102). Жүк ілгіштен *a* және *b* сол жақтағы тірекке дейінгі қашықтықты жазып алады, кесте 17.



Сурет 102 - Сырыққа жүк ілгішті орнату

6. Микрометрдің 6 бекітетін модулін кронштейн 7 тесігіне келетіндей етіп орнатады. Кронштейннің тесігі сырықтың 5 үстінде орналасу керек (қажет болған жағдайда кронштейнді 7 басқа тесікке модуль 5 тесікке жылжытады). Микрометр 8 кронштейнге орнатып, винт 9 арқылы бекітеді. Осындай жұмысты екінші микрометрге де жасайды. Сурет 103 зертханалық жұмысты жүргізуге дайындаған стенд көрсетілген.



Сурет 103 - Жұмыс жүргізетін стендті құрастыру

7. Кнопка «zero» басып, микрометрдің көрсеткішін «нөльге» түсіреді.
8. Үлгіге  $P_1$  және  $P_2$  жүктерді таңдап алады. (жүктің қадамы 4,9 Н). Барлық жүк 30 Н аспау керек.
9. Бірінші жүк ілгішке (А нүктесінде)  $P_1$  жүгіне тең жүкті іледі.
10. Микрометрдің көрсеткіштерін  $\Delta_1$  және  $\Delta_2$  кесте 17 жазады.

11. Екінші жүк ілгішке (В нүктесінде)  $P_2$  жүгіне тең жүкті іледі.
12. Микрометрдің көрсеткіштерін  $\Delta_1$  және  $\Delta_2$  кесте 17 жазады.
13. Жүк ілгіштерден жүктерді түсіреді.
14. Екінші жүк ілгішке (В нүктесінде)  $P_2$  жүгіне тең жүкті іледі.
15. Микрометрдің көрсеткіштерін  $\Delta_1$  және  $\Delta_2$  кесте 17 жазады.
16. Бірінші жүк ілгішке (А нүктесінде)  $P_1$  жүгіне тең жүкті іледі.
17. Микрометрдің көрсеткіштерін  $\Delta_1$  және  $\Delta_2$  кесте 17 жазады.
18. Жүктер мен стендтің элементтерін босатып алып, жәшікке салады.
19. Күш  $P_1$  түскен нүктесінде күш  $P_2$  әсерінен орын ауыстыруынан болған жұмысты  $A_{12}$  есептеп шығар
20. Күш  $P_2$  түскен нүктесінде күш  $P_1$  әсерінен орын ауыстыруынан болған жұмысты  $A_{21}$  есептеп шығар
21. Екі нұсқа бойынша есептеп шығарылған нәтижелерді салыстырыңдар. Қортынды жасаңдар.

Кесте 16 - Үлгінің геометриялық сипаттамалары

$t$ , мм	$h$ , мм	$J_X$	Тіректердің ара қаштығы $l$ , мм
			500

Кесте 17 - Сынақ хаттамасы

$a$ , мм	$b$ , мм	$P_1$ , Н	$P_2$ , Н	$\Delta_1$ , мм	$\Delta_2$ , мм	$A_{12}$ , мДж	$A_{21}$ , мДж
			-				
		-					
		-					
			-				

### **Пайдаланган әдебиеттер тізімі:**

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов /В.И.Феодосьев. – М.: Наука, 2004.-560 с.
2. Сопротивление материалов /Г.С.Писаренко, В.А.Агарев, А.Л.Квитка и др.; под ред.Г.С.Писаренко. – 4-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа, 2009.-671 с.
3. Тензометрия в машиностроении: справочное пособие / под ред. Р.А. Макарова. – М.: Машиностроение, 2005.
4. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. Учебник для вузов. Изд. 4-е. М.: «Высшая школа», 2005.
5. Саргсян А.Е. Сопротивление материалов, теории упругости и пластичности. Основы теории с примерами расчетов. – Учебник для вузов.- 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2000.
6. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. 14-е изд. – М.: Наука, 2005
7. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов. М., Наука, 2006.

**ISBN 978-601-356-090-8**

