

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
ТОШКЕНТ АРХИТЕКТУРА ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ

5А 580204 - "Қурилиш конструкцияларини лойиҳалаш"

Мутахассислиги бўйича магистрант

ДАВЛЯТОВ ШОХРУХ МУРОТОВИЧ

МАГИСТРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ

Мавзу: Цилиндирсимон қобикларнинг мустаҳкамлиги ва устуворлигини
ошириш

Илмий раҳбар

Сайдуллаев Қ.А.

Тушунтириш хати.....бет

Чизма қисми.....варақ

"Ҳимояга тавсия этилди"

"Қурилиш конструкциялари" кафедра

мудири,

_____проф. Низомов Ш.Р.

" _____ " _____ 2012 й.

ТОШКЕНТ 2012

МУНДАРИЖА

Кириш.....	2
Цилиндрсимон қобиқларни мустаҳкамлик ва устиворликни тадқиқоти бўйича адабиётлар шархи.....	3
I. ҚОБИҚСИМОН КОНСТРУКЦИЯЛИ ИНШОАТЛАРИ ҲАҚИДАҚИСҚАЧА МАЪЛУМОТ	
1.1 Умумий маълумотлар.....	8
1.2. Цилиндрсимон қобиқларнинг бўйлама куч остида устивортекшириш.....	11
1.3 Цилиндрсимон қобиқларни мустаҳкамлик ва устиворлигини ошириш чоралари.....	13
1.4. Амалий ҳисоблашда асосий чекланишлар.....	14
II. ҚОБИҚЛАРНИ УСТИВОРЛИККА ВА ЮК КЎТАРИШ ҚОБИЛЯТИГА СИНАШ	
2.1. Қобиқларни синашдан ўтказиш масаласи.....	16
2.2. Кучайтирилган панелларни марказий сиқилишга синаш.....	17
2.3. Устиворликка ва юк кўтариш қобилиятига синаш.....	23
2.4. Синаш натижалари тахлили, ҳисоблар билан солиштириш.....	29
2.5. Минора секцияларининг устиворлигини ва юк кўтариш қобилитини синовдан ўтказиш.....	32
2.6. Синаш усули ва аппаратураси.....	37
2.7. Синаш натижалари. Ҳисоблаш билан солиштириш.....	37
III. ПАНЕЛЛАР БИЛАН КУЧАЙТИРИЛАДИГАН ЦИЛИНДРСИМОН ҚОБИҚЛАРНИНГ УСТИВОРЛИГИ ВА ЮК КЎТАРИШ ҚОБИЛЯТИ	
3.1. Бўйлама панеллар билан кучайтирилган қобиқни марказий сиқилишда умумий устиворликка ҳисоблаш.....	47
3.2. Ярим моментли назария бўйича устиворликка ҳисоблаш.....	52
3.3. Моментли назария бўйича умумий устиворликка ҳисоблаш	55
3.4. Панеллар билан кучайтирилган қобиқни номарказий сиқилиш бўйича умумий устиворликка ҳисоблашнинг амалий усули.....	57
3.5 Бўйлама қирраларидан бикр маҳкамланган цилиндрсимон панелни устиворлиги.....	60
2.6 Кучайтирилган қобиқларнинг юк кўтариш қобилияти	62
3.7 Бўйламасига цилиндрлик панеллар билан кучайтирилган цилиндрсимон минора конструкцияларни ҳисоблаш услуби.....	64
Фойдаланилган ва ўрганилган адабиётлар рўйхати.....	72

Кириш

Республикаимиз халқ хўжалиги тармоқлари орасида қурилиш соҳаси алоҳида ўрин тутди. Мустақилликка эришилгандан сўнг ўтган даврда халқ хўжалигининг барча тармоқлари жадал ва кенг кўламда ривожлантирилмоқда. Бу ривожланиш жараёнини янги ишлаб чиқариш корхоналарининг қурилиши, мавжуд корхоналарни кенгайтириш, қайта қуриш, қайта жиҳозлаш, турар жой, маданий ва маиший хизмат кўрсатиш бинолари қурилиши ҳамда қишлоқ хўжалиги аҳамиятига эга бўлган бино ва иншоотлар қурилишисиз тасаввур этиб бўлмайди. Бу эса ўз навбатида қурилиш соҳасини замон талаблари асосида такомиллаштиришни талаб этмоқда. Қурилиш маҳсулоти ҳисобланган бино ва иншоотларнинг сифати умумий ҳолда лойиҳа сифати, қурилиш материаллари ва конструкцияларининг сифати ҳамда қурилиш-монтаж ишларининг бажарилиши яъни жараёнлар технологияси сифати билан характерланади. Қадимда яшаб ўтган меъморларимиз буни жуда яхши билганлар ва унга қатъий амал қилганлар. Шу сабабли ҳам Самарқанд, Хива, Бухоро каби қўҳна шаҳарларда минглаб йиллар аввал қад ростлаган мадраса ва миноралар лойиҳасининг мукамаллиги, ишлатилган материалларнинг узоққа чидамлилиги, аниқ технология асосида тикланганлиги натижасида ҳозирда ҳам ўз кўрки ва салобатини йўқотмаган.

Саноат ва фуқоро қурилишида қобиксимон конструкцияларни лойиҳалаш ва қуриш ҳозирги замонда энг муҳим муаммолардан бири ҳисобланади. Қобиксимон конструкциялар юпқа деворли бўлиб ўзининг материал сарфи билан энг тежамли конструкция ҳисобланади. Нефтни қайта ишлаш, кимё энергетика ва махсус қурилишларда қобиксимон конструкциялар металл сарфининг асосий салмоғини ташкил этади.

Юпқа девор ва кучайтирувчи элемент - бикрлик қобирғалардан ташкил топган бундай иншоотлар ўзига хос хусусиятга эга бўлиб назарий ҳисоблашда аниқ ечимлар ҳозирги кунгача яқуний ечимга эга эмас десак хато бўлмайди. Бундай типдаги конструкцияларни ҳисоблаш ва амалда синаш масаласи бўйича кўплаб илмий изланишлар олиб борилмоқда. Муаммонинг актуаллиги. Юпқа деворли қобиксимон конструкциялар ичида цилиндр шаклидаги конструкциялар тайёрланиши ва қурилиши бўйича энг содда ҳисобланади. Халқ хўжалигининг барча соҳаларда бундай кўринишдаги конструкциялар ҳозирги замонда кенг жорий этилмоқда. Қобиксимон конструкциялар юпқа деворли бўлганлиги учун уни тайёрлашда, транспортлашда ва ўрнатишда унинг сиртида ҳар хил шаклдаги бошланғич нуқсонлар албатта мавжуд бўлади. Ҳаракатдаги қурилиш меёрлари ва қоидаларида юпқа деворли қобикларни ҳисоблаш ва лойиҳалашга етарлича аҳамият берилмаган. Цилиндрсимон қобикларни ҳисоблашда моментли, ярим моментли назариялардан фойдаланилади. Ушбу

назариялар билан ҳисобланган конструкциялар амалда ўзини қандай тутиш муаммоси қурилиш меёрларида ўзининг тўлиқ ечимини топмаган. Ушбу йўналиш бўйича изланишларни давом эттириш ҳозирги пайтда ўзининг актуаллиги билан ажралиб туради.

Назарий ҳисоблашларни намуналарда синаб кўриш ва натижаларни таҳлил этиш ушбу изланишнинг асосий мақсади ҳисобланади.

Ишнинг мақсади ва вазифалари . Ушбу илмий изланишдан мақсад , ясовчиси бўйлаб цилиндрсимон панеллар билан кучайтирилган цилиндр шаклидаги минора конструкциясини марказий ва нормаказий сиқилишга ишлашини аниқлаш тажриба усулида текшириб ва назария ҳисобига ўзгартиришлар киритишда иборат.

Мақсадга эришиш учун қуйидаги вазифаларни ечиш режалаштирилди:

- марказий сиқилишга ишловчи цилиндр шаклидаги конструкцияни умумий устиворлигини ва юк кўтариш қобилиятини текширишга амалий ҳисоблаш усуллари қўллаш;
- номарказий сиқилишга ишловчи кучайтирилган цилиндр шаклидаги конструкциянинг юк кўтариш қобилиятини ва устиворлигини текшириш;
- конструкция учун иқтисодий самарадорлигини баҳолаш.

Илмий янгилик. Бикрлик қувургалар билан кучайтирилган цилиндрсимон қобиқларни ҳисоблаш ва лойихалаш таклиф этиш. Ҳосил бўлган конструкцияни энергетик усулда мустаҳкамликка ва устиворликка ҳисоблаш услуги қўлланилган. Синаш учун цилиндрсимон панеллар билан кучайтирилган конструкция тайёрланиб синовлар ўтказиш. Синов натижалари ва назарий ҳисоблашлар солиштирилиб таҳлил этиш.

Цилиндрсимон қобикларни мустахкамлик ва устиворликни тадқиқоти бўйича адабиётлар шархи

Қобиксимон конструкциялар енгил , хом ашё сарфи бўйича энг тежамли қурилиш конструкцияси эканлиги эътироф этилган . Халқ хўжалигининг барча сохалари бўйича хизмат кўрсатувчи биноларида , айниқса саноат ва махсус иншоотларининг таркибий қисмида қобиксимон конструкциялар кенг жорий этилмоқда .

Даставвал сув сақлаш ва тақсимлаш сиғими сифатида ишлатилган бўлса , XIX аср ўрталарига келиб бундай конструкцияларни саноатда қўллаш эҳтиёжи пайдо бўлди . Шу даврга келиб нефт маҳсулотларидан саноат миқёсида фойдаланиш талаби кучайиши оқибатида нефтни қазиб олиш жадаллик билан ривожлана бошланди. Илмий - техник бухрон қурилишга ҳам ўз таъсирини кўрсатди . Нефт ишларини барча тармоқларида - қазиб олиш , транспортлаш , қайта ишлаш , нефт маҳсулотларини сақлашда ҳар хил сиғим ва ҳар хил шаклдаги қобиксимон сиғимлар яратиш муаммоси кўндаланг бўлди. Албатта , ҳар хил хажмдаги резервуарлар , нефтни қайта ишлаш аппаратлари яратилди . Узунлиги турлича бўлган қувурлар ётқизишда қобиксимон конструкциялардан фойдаланилади.

Йирик ўлчамли қувурлар орқали нефт ва нефт маҳсулотларини оқизиш (транспортилаш) ғояси дастлаб рус мухандиси В.Г.Шухов томонидан яратилди ва унинг лойиҳаси бўйича Боку нефт хавзасида қобиксимон конструкциялар кенг жорий этилди.

Электр ёйи энергиясидан фойдаланиб металлларни пайвандлаш усули ихтиро этилгач (Бенардос Н.Н., Славянов Н.Г.), қобиксимон конструкциялар яратиш жадаллик билан ўса бошлади.

Ҳозирги даврда қобиксимон конструкциялардан фойдаланиш қурилиш ишларининг энг асосий қисмини ташкил этади . Қурилишда ишлатилаётган металлнинг 30-35% салмоғи айнан шундай конструкциялар яратиш учун сарфланмоқда.

Қобиксимон иншоотлар юпқа деворли қурилмалар туркумига кириб, унинг қалинлиги бошқа ўлчамларига (узунлиги, эни) нисбатан бир неча ун (хато юзлаб) баробар кичик бўлади. Амалда қилинликнинг эгрилик радиусига нисбати $h/Y < 1/20$ тенгсизлик билан белгиланади.

Юпқа деворли қобиксимон иншоотлар - тана (яъни қобикнинг ўзи), ва бикрлик қобирғаларидан ташкил топган мухандислик иншооти бўлиб, танаси пластина ёки қобиклар назариясига асосан, кўндаланг ва бўйлама йўналишларда ўрнашган бикрлик қобирғали стерженли тизим сифатида ҳисобланади.

Пластина ва қобикларни ҳисоблашда кучланганлик ҳолатига қараб уларни шартли равишда «юпка» ёки «қалин» деворли деб қабул қилинади . Агар қалинлик бошқа ўлчамларга нисбатан $1/5$ кам бўлса , юпка деворли дейилади. Юпка деворли конструкциялар икки йўналиш бўйича кучланганлик ҳолатида (σ_x, σ_y) ишлайди. Қалин деворли конструкцимларда эса уч йўналиш бўйича кучланиш ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) ҳосил бўлади .

Юпка деворли конструкция кесимининг баландлиги бўйлаб бир хил ишорали кучланиш ҳосил бўлгани сабабли материал тўлиқ ишлайди ва мустаҳкамлик ишончли бўлади, материал эса тежалади.

Юпка деворли пластина ва қобиксимон конструкцияларни ҳисоблаш ўзига хос мураккабликка эга бўлиб, амалий ҳисобларда Кирхгоф-Ляв гипотезаларидан фойдаланилади. Гипотезалар қуйидаги тақлифлардан иборат:

а) деформацияга кесимга тик йўналган тола деформациядан сўнг ҳам тик ҳолатини сақлайди ва узунлиги ўзгармайди;

б) пластина ёки қобикнинг ўрта сиртига параллел ўрнашган сиртларда нормал кучланишлар таъсири ҳисобга олинмайди.

Иккала гипотеза бўйича $\sigma_z=0$ бўлиши таъкидланмоқда , ҳақиқатда амалда нормал кучланиш - σ_z таъсири жуда кам бўлиши исботланган.

Кирхгоф-Ляв гипотезаларига асосланган назария юпка қобиклар (пластиналар) назарияси деб ҳам аталади [4,9]. Амалий ҳисоблашларда нафақат $h/R < 1/20$ нисбатли конструкциялар, хатто $h/R = (1/5—1/3)$ нисбатли қобик ва пластиналарни ҳисоблашда ҳам юқоридаги гипотезалардан фойдаланиш мумкин экан [7,17].

Пластина ва қобиксимон конструкцияларни ҳисоблашнинг назарий асосларини яратишда рус олимлардан В.З.Власов, В.В.Новожилов, А.Л.Гольденвейзер, А.И.Лурье олмон олимлари Кирхгоф ва Ляв, Т.Карман, америкалик олим Л.Доннел, мамлакатимиздан М.Т.Уразооев хизматлари катта.

Ташқи сирти берк контурдан иборат қобиксимон конструкциялари амалий ҳисоблашда устиворлик масаласи ўта муҳим бўлиб , бундай масалаларни ечишда И.Ф.Иаилович, А.С.Вольмир, Х.М.Муштари, С.И.Тимошенколарнинг илмий ишлари алоҳида амалий аҳамиятга эга.

Ташқи таъсирлардан кўндаланг деформациянинг чекланиши сабабли одатда пластина ёки қобик бикрлиги стерженсимон конструкцияларни бикрлигидан (ЕJ) биров каттароқ (10% оралиғида) бўлади ва цилиндрик бикрлик дейилади . Масалан пўлат конструкциялар учун ($\mu=0.3$)

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} = \frac{Et^3}{10,92}$$

Қобикларда асосан чўзилиши (сикилиш) деформацияси ҳосил бўлгани сабабли кўндаланг кесим баландлик бўйлаб бир хил ишорали кучланиш остида ишлайди ва конструкцияларни ҳамма нуқталари бир-бирига яқин бўлган кучланишларга қаршилиқ кўрсатади.

Ҳаракатдаги меъёрларга асосан [18,19,20] қобиксимон конструкциялар эластик кучланганлик чегараси бўйича (Гук қонуни) ҳисобланади.

Ташқи кучларга ва таъсирларга ҳисоблашда пластина ва қобиклардаги кучланиш, кўчишлар мувозанат тенгламалари билан геометрик ва физик тенгламаларга чегаравий шартлар ҳисобга олинади. Ушбу тенгламалар қатъий математик талаблар бўйича ечиладиган бўлса, бир қанча жиддий қийинчиликларга дуч келамиз. Бундан ташқари ханузгача умумийлашган аниқ ечимлар мавжуд эмас десак хато бўлмайди [4,7,10,14,15]. Шундай вазиятларда ҳисоблаш амалиётида ўзини оқлаган бир қанча соддалаштиришлар ва чекланишлар киритилади. Масалан конструкция симметрияга эга бўлса, номалумлар сони камаяди в масалани ечиш бир мунча осонлашади.

Қобиклар назариясида моментли, ярим моментли, моментсиз ҳолатлар бўйича ҳисоблаш назариялари мавжуд бўлиб, симметрия тизимлар учун моментсиз назария тадбиқ этилса, ҳисоблаш аниқлиги ишончли ва жуда содда ечимларга эришиш мумкин. Шунингдек, ёпиқ кесимли қобиклар учун эгри чизикли координаталар ўрнига уларнинг текисликдаги проекциясидан фойдаланувчи техник назария яратилган.

Қобиксимон конструкцияларни устиворликка текшириш муаммоси ҳозирги кунгача ўзининг актуаллигини йўқотмаган, чунки қобик сиртидаги ҳар хил шаклдаги бошланғич нуқсонлар устиворлик ҳолатига жиддий таъсир этиши қобиклар назариясида эътироф этилган муаммодир [4,9,14].

Қобик сиртидаги бошланғич нуқсонларнинг шакли, миқдори, ўзгариш қонунияти ҳақида ҳар хил таклифлар ва мулоҳазалар мавжуд. Таъкидлаш жоизки, бундай нуқсонлар ҳар қандай шароитда ҳам мавжуд булар экан. Нуқсонларнинг айрим реал шакллари - ўққа нисбатан симметрик нуқсонлар, маҳаллий нуқсонлар, носимметрик нуқсонларни ҳисобга олувчи айрим ечимлар адабиётларда етарлича ёритилган [9,12,15,16].

Қобиксимон конструкцияларни мустаҳкамликка, устивор бикрликка ҳисоблаш ҳақидаги муаммоларнинг тугал ечими ҳозиргача йўқ. Бундан ташқари металл конструкцияларга вақт таъсири, бошланғич кучланганлик ҳолати таъсири, ҳар хил динамик юклар таъсири, ҳарорат таъсирига ҳисоблаш назариялари бўйича тадқиқотлар давол этдирилмоқда.

Ҳар қандай турдаги қурилиш конструкцияси учун ҳамма харажатларини камайтириш, уни енгил, ихчам ва ишонч билан узоқ муддат хизмат кўрсатиши бош масала ҳисобланади. Ушбу муаммоларни ҳал

этишда устиворлик масаласи энг муҳим масала ҳисобланади. Айниқса юпка деворли қобиксимон конструкцияларнинг устиворлигини таъминлаш, уларни дастлабки ҳисоблаш ва лойиҳалашда жиддий қийинчиликларга учраймиз. Кўп ҳолларда назарий ҳисоблаш ва синаш ишларидаги натижалар орасида тафовутлар кескин бўлиб қолиш кузатилади. Тафовутларнинг асосий сабабчиси конструкцияда учрайдиган ҳар хил турдаги бошланғич нуқсонлар эканлиги эътироф этилади [9,16].

Юпка деворли қобиксимон конструкцияларнинг устиворлигини таъминлаш учун амалда конструктив чоралар кўрилади . Бунинг учун қобирга сирти маълум ораликларда бикрлик қобирғалари билан кучайтирилади ва уларни кучайтирилган қобиклар деб аталади. Шундай турдаги конструкциялар техниканинг ҳамма соҳаларида , жумладан қурилишда ҳам кенг жорий этилган.

Бикрлик қобирғалари билан кучайтирилган қобиксимон конструкцияларни устиворликка ҳисоблаш бўйича қуйидаги олимларнинг илмий ишларини кўрсатиш мумкин, А.С.Вольмир [9], С.А.Тимашев [16], С.И.Тимошенко [14], Н.А.Алфутов [5], М.М.Жербин [17], И.Я.Амиро [15] ваҳоказо.

Қобиксимон конструкцияларни назарий ҳисоблашда уни устиворлигини аналитик усулда текширишда жиддий математик қийинчиликлар мавжуд, шунинг учун тажрибалар ва синовлар ўтказиш ҳам кенг жорий этилган. Шуни унутмаслик керакки, тажриба йули билан намуналарни синаш ва ҳақиқий қурилмани иш ҳолати орасида анча фарқ борлигини эътиборга олиш лозим.

I. ҚОБИҚСИМОН КОНСТРУКЦИЯЛИ ИНШОАТЛАРИ ҲАҚИДА ҚИСҚАЧА МАЪЛУМОТ

1.1 Умумий маълумотлар

Минора иншоотлари баландлигига нисбатан кўндаланг кесим ўлчами кўп марта кичик, пойдеворда бикр маҳкамланган эркин консол типдаги қурилиш иншоатидир.

Минора иншоотлари белгиланишга қараб ҳар хил вазифаларни бажариши мумкин, кимёвий зарарли газларни ҳайдаш, ёритиш минораси, сув ҳайдаш миноралари, радио ва телевидение миноралари шулар жамласидандир.

Минора иншоотларнинг танаси бажарадиган вазифаси ва хусусиятига қараб металлдан, темирбетондан ёки яхлит кесимли қилиб лойиҳаланади. Қобиқсимон минораларда кесим шакли цилиндр шаклида бўлиб, таянчда темир бетон пойдеворга бикр маҳкамланади. Минора ўзининг хусусий оғирлиги, технологик жихозлар ва шамол тасирига бардошли қилиб лойиҳаланиши лозим.

Металлдан лойиҳаланувчи миноралар назариясини яратишда М.М.Жербин, М.Ф.Барштейн, Г.А.Савицкий, В.В.Трофимовичларнинг хизматлари катта. Металлдан қурилган радио ва телевидение ва қисман сув минораларини асосан панжарасимон иншоат сифатида лойиҳалаш ва қуриш тавсия этилади. Кимё саноатида мўрилар эса, яхлит кесимли қобиқсимон конструкция сифатида қурилади. Ушбу схемада минора иншоотларини синфларга бўлиш ифодаланган.

Схемадан кўриниб турибдики, минора иншоотлар халқ хўжалигини барча соҳаларида кенг қўлланилади.

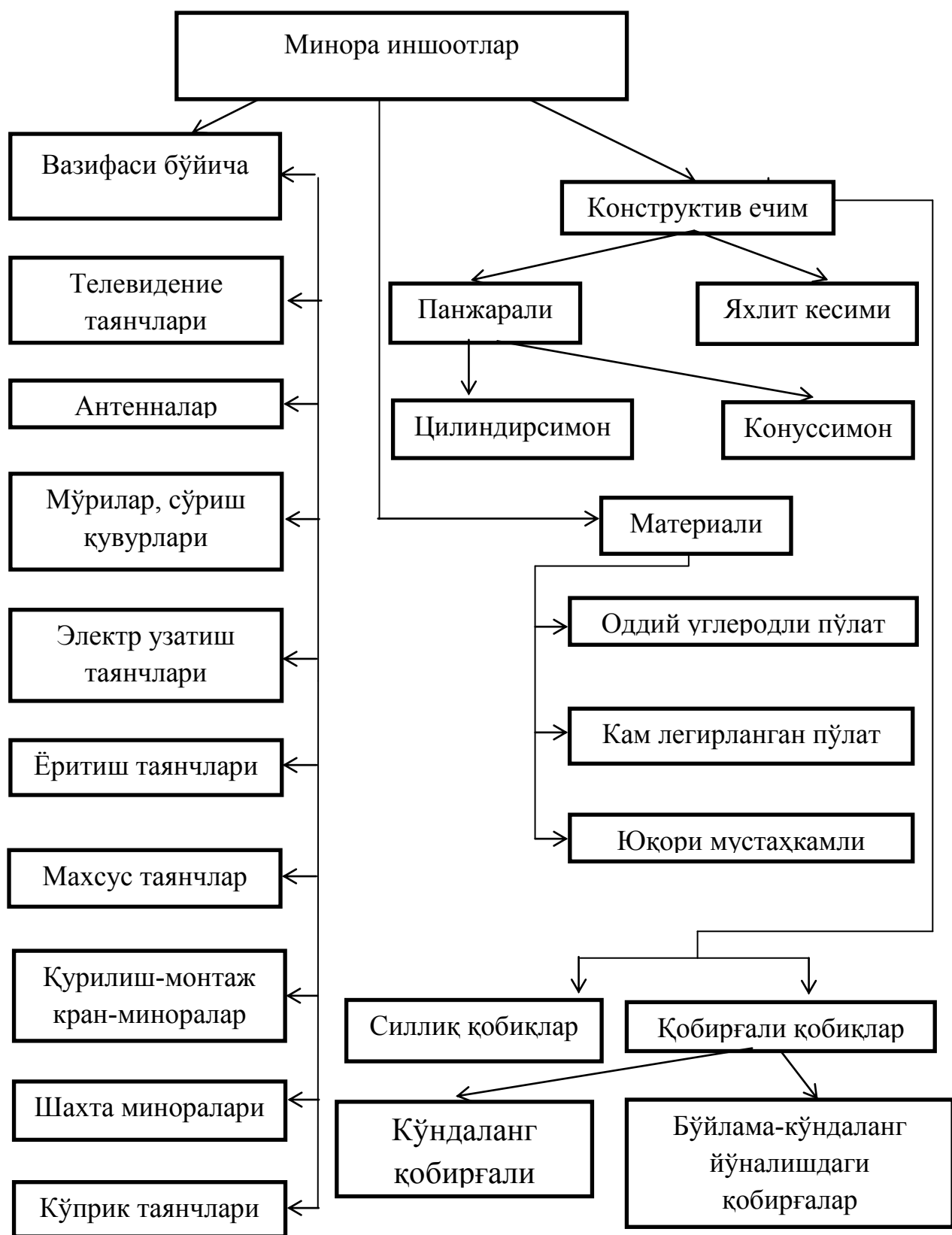
Қурилишда кўпроқ яхлит кесимли цилиндрсимон минора иншоотлар учрайди ва доира радиусини девор қалинлигига нисбати $R/h=70-100$ атрофида қабул қилинади.

Ушбу нисбат қобиқ деворининг маҳаллий устиворлигини таъминлаш талабига доир белгиланади.

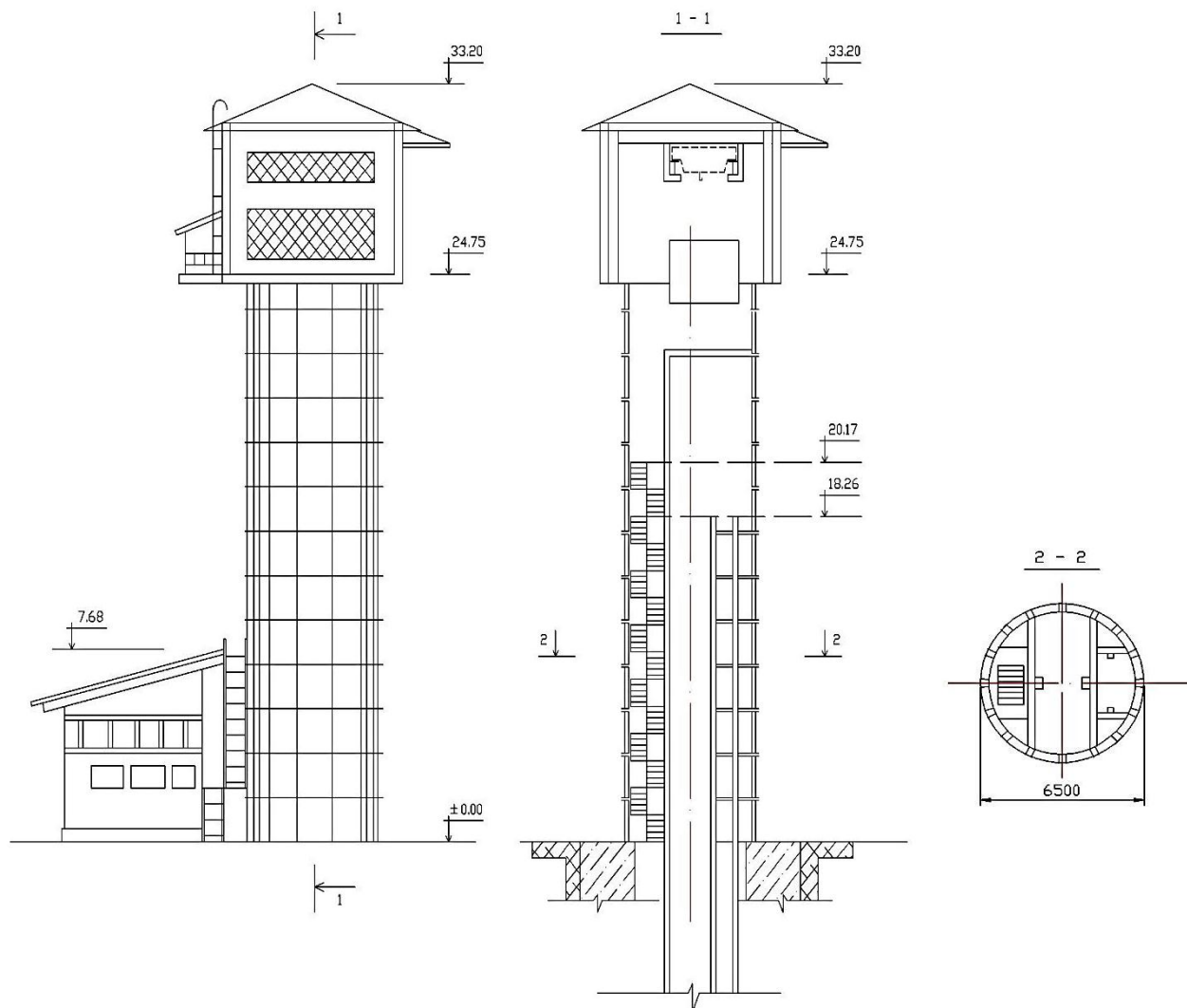
Айрим мамлакатларда яхлит кесимли цилиндрсимон миноралар кўплаб қурилган [12,22].

Айтиб ўтилганидек, қобиқлар юпқа бўлиб уларда бошланғич нуқсонлар албатта учрайди. Бундай нуқсонларнинг таъсирини камайтириш учун қобиқ сирти ҳар хил профил конструкциялар билан кучайтирилади.

Миноралар номарказий сиқилиш остида ишлайди ва уларнинг маҳаллий устиворлигини таъминлаш учун бўйлама ва кўндаланг йўналишда қобирғалар ўрнатилади. М.С. Жербин лойиҳаси бўйича шахталар устидаги кўтариш қурилмаси цилиндрсимон қобиқ худди шундай тизимда кучайтирилган (1.2-расм).



1.1-расм. Минорали иншоотларнинг вазифаси ҳамда конструктив ечимининг тизими.



1.2-расм.М.Жербин томонидан лойихаланган минорашахта усти кўтаргич конструкцияси.

Ушбу минорада конструкция цилиндри бўйламасига эгрилик радиуси кичикроқ панеллар билан кучайтирилган. Шундай қурилмани тайёрлаш бир мунча осон бўлиб , асосий цилиндрсимон қобик алоҳида вальцовкаланади (жуваланади) , кучайтирувчи панеллар алоҳида жуваланади . қурилманинг элементлари махсус ихтисослашган заводларда тайёрланиши мумкин.

1.2. Цилиндрсимон қобикларнинг бўйлама куч остида устиворлинитекшириш.

Доиравий кесимли цилиндрсимон қобикларнинг устивор назарий текшириш асосан чизикли тенгламалар ҳосил қилувчи Л.Эйлер бўйича статик мезонидан келиб чиққан ҳолда текширилади. Аммо, ушбу мезон билан ҳисобланган куч тажрибаларда узоқ муддат тасдиқланмади[14,15]. Барча олимлар ва мутахассисларнинг тастиғи бўйича бундай номувофиқликнинг асосий сабаби

юқорида қайд этиб ўтилган қобикдаги бошланғич носозликлар - ҳар хил шаклдаги идеал сиртдан четланишлар сабаб бўлар экан.

Цилиндрсимон қобикларнинг устиворлигини текширишда икки хил усулдан фойдаланилади. Биринчи усулда қобирғаларни алоҳида жойлашган кучайтирувчи қобирғаларнинг чузилиш (сиқилиш) ва эгилишдаги бикрлиги бир текисда ёйилади деб қабул қилинади, яъни буралиш деформацияси ҳисобга олинмайди. Шундай усулда В.З.Власов, Х.М.Муштари, Д.Е.Линовский каби олимлар ҳисоблашни таклиф этганлар. Бу энг оддий усул бўлиб айрим камчиликлари ҳам этироф этилган[18].

Иккинчи усулда қобирғалар алоҳида-алоҳида жойлашуви ҳисобга олинади ва бу усул учун бир неча қарашлар мавжуд. Энг кўп тарқалган қобик ва қобирғани бирлашувидаги контакт кучланиши ҳисобланади.

Устиворлик масаласи қобик ва бикрлик қобирғасининг биргаликдаги деформациясига асосланган чегаравий масала каби ечилади. Масалани шундай кўйилишида кўп сонли алгебрик тенгламалар ҳосил бўлади детерминантини нолга тенглаб критик куч қиймати топилади.

Устиворлик масаласини ечишда ҳозирги вақтда кўйдаги усуллар ишлаб чиқилган ва ЭХМ ёрдамида юқори аниқликдаги натижалар олиш мумкин. Иккинчи усулда ҳисоблаш Н.А.Алфутлов[5] , Х.М.Муштари, Д.Е.Линовский томонида амалга оширилган.

Цилиндрсимон кучайтирилган қобиклар бўйлама марказийсиқилишга синаш бўйича кўплаб тажрибалар ўтказилган ва назарийҳисоблар билан солиштирилган. Хулоса қилиб айтиш мумкинки, қобиксиртидаги нуқсонларни мавжудлиги кучайтирилган қобикларда таъсири камроқ бўлади.

Агар қобик номарказий сиқилиш остида ишласа, устиворликни йўқотиш сиқилиш ва эгилиш энг катта қийматга эришган зонага тўғри келади.

Қобикларни эгилиш деформациясида устиворликка текшириш ўзига хос хусусиятга эга бўлиб, бу ерда қалин деворли, етарлича узун қобикларнинг кўндаланг кесими япалоқланиши шарти ва ўртача узунликдаги цилиндрсимон қобикларни классик назарияга асосан тўлқинсимон бўртишлар ҳосил бўлиш билан устиворлигини йўқотиш масаласи кўйилади.

Биринчи усул билан изланишларда Т.Карман, Э.Рейснер ва Э.Л.Аксельрад ишлари эътироф этилган

Иккинчи усулда изланишлар Флюггега тегишли бўлиб, кейинчалик Доннел, Моссман каби олимлар кўплаб тажриба-синашлар ўтказишган. Тажриба ўтказиш учун асосан алюминийдан тайёрланган намуналар ишлатилган. Қобирғасиз қобикларда ўтказилган тажрибалардан маълум бўлишча устиворликни йўқотиш асосан цилиндрсимон сиртнинг сиқилиш кучайган

зонасида устиворликни йўқотиш кузатилади. Ўртача узунликда қобикларда устиворликни йўқотишдаги кучланиш асосан R/t -нисбатгабоғлиқлиги исботланган. Ушбу нисбат каттайган сари назарий ҳисоблашва тажрибалар натижаси бир бирига яқин кўрсаткичлар берган.

Ушбу тажрибалардан келиб чиққан хулосалар шундан иборатки, эгилиш деформацияси остида ишловчи конструкцияларни иш шароитимарказий сиқилишга нисбатан оғир бўлар экан. Номарказий сиқилиш бўйича назарий изланишлар мураккаблиги билан ажралиб туради ва бу йўналиш бўйича асосан кўплаб тажриба-синашлар ўтказилган. Ушбу тажрибаларга асосланиб устиворлик чегараси эмпирик йўл билан белгиланган.

Тармоқланган қобиклар асосан бир неча қобиксимон элементларни бирлашмасидан ҳосил бўлади, масалан цилиндрсимон қобикни цилиндисимон панеллар билан кучайтиришда шундай типдаги конструкция ҳосил бўлади. Бундай қобикларни ҳисоблаш оддий профиллар билан кучайтирилган қобикларни ҳисоблашга нисбатан бир мунча мураккаб. Кучайтирувчи элемент ҳам қобикқа ўхшаб ишлаши сабабли ҳисоблаш ишларини анча мураккаблаштиради. Ушбу йўналишда назарий ва амалий изланишлар жуда оз бажарилган. Бунга асосий сабаб шундай конструктив тузилишга эга қобикларни ҳисоблашнинг амалий усуллари ҳам ишлаб чиқилган.

Тажрибаларни кўрсатишча, қобикларда устиворликни йўқотиш аввал қобикда, сўнгра қобирғада кузатилади.

1.3 Цилиндрсимон қобикларни мустаҳкамлик ва устиворлигини оширишчоралари.

Қурилиш амалиётида, шу жумладан, юпқа деворли цилиндрсимон минора-биноларни лойиҳалаш мустаҳкамлик ва устиворлик шартини бажариш орқали амалга оширилади. Илмий изланишлар ва ўтказилган тажриба синашлардан маълум бўлишча цилиндрсимон қобикларнинг қалинлигини белгилаш учун асосий омил устиворлик ҳисобланади ва бўйлама куч, эгувчи момент устиворлик шартини белгиловчи асосий ташқи кучлар ҳисобланади[9]. Айтиб ўтганимиздек, бунга асосий сабаб юпқа деворли қобиклардаги ҳар хил шаклда мавжуд бўлган нуқсонлар (уйдим-чуқурликлар) сабаб бўлади. Бундай нуқсонлар конструкцияларни транспортлашда, тайёрлашда ва йиғим пайтида ҳосил бўлади. Нуқсонларга эга қобикларда критик куч қиймати идеал шаклдаги қобикларникидан бир неча баробар кам эканлиги кўплаб тажрибаларда кузатилгани маълум[9,10,14,16,17].

Нуқсонларни эътиборга олиб лойиҳалашда устиворликни таъминлаш учун табиийки унинг қалинлигини ошириш ёки бошқа хилдаги конструктив чоралар

кўриш лозим. Амалда цилиндрсимон қобик конструкцияларнинг устиворлигини ошириш учун бўйламасига бикрлик қобирғалари (гофр) ўрнатиш тавсия этилади. Маҳаллий устиворликни таъминлаш учун қаватли, масалан уч қаватли қобик-конструкциялар барпо этилади. Аммо бундай типдаги конструкцияларни яшаш бир мунча мураккаб ва қимматга тушади. Ҳозирги кунда трубабетон конструкциялар қўллаш ҳам жорий этилмоқда. Бундай конструкцияларда ташқи сирт юпқа металл қобикдан ички труба бетон қоришмаси билан тўлдирилади, уларнинг устиворлиги ва мустаҳкамлиги жуда юқори бўлиб, шундай мақсадда қуриладиган темир бетон конструкцияга нисбатан анча арзон.

Устиворликни йўқотишдаги критик кучланиш миқдори R/t нисбатга боғлиқ (R -радиус, t -қобик қалинлиги) ва бу нисбат қанча кичик бўлса, критик кучланиш шунча юқори бўлади. Устиворликни ошириш асосан пресслаб, эгиб тайёрланган ҳар хил профиллар (бурчакли, швеллер, тавр, қўштавр ва хоказо.) билан цилиндрсимон қобикни ташқаридан ёки ичкаридан кучайтириш усулидир. Айтиб ўтганимиздек кучайтирувчи элемент сифатида асосан бўйлама қобирға хизмат қилади. Бундан ташқари айланмасига кучайтирувчи (ташқи босим остида ишловчи конструкцияларда) элементлар (шпангоутлар) ўрнатиш, бўйлама кўндаланг йўналишли (кутича-вафли) элементлар ўрнатиш билан ҳам устиворликни ошириш чоралари кенг тарқалган.

Қобирғаларнинг шаклини ва турини тўғри танлаш муҳим аҳамиятга эга бўлиб, конструкцияларни тайёрлашда материал тежамига катта таъсир кўрсатади [15].

1.4. Амалий ҳисоблашда асосий чекланишлар.

Бўйлама йўналишда цилиндрик панеллар билан кучайтирилган цилиндрсимон қобикларнинг конструктив ортотроп схема бўйича марказий ва номарказий сиқилиш остида умумий устиворликка текширамыз. Цилиндрик панеллар асосий қобик билан бикр туташма ҳосил қилади .

Қобикларни бўйлама сиқилиш ва эгилишдаги юк кўтарувчанлиги уни маҳаллий устиворлигини йўқотиш билан белгиланади, чунки критик кучланиш материалнинг ҳисобий қаршилигидан анча кичик бўлади.

Бўйлама цилиндрик панеллар билан кучайтирилган цилиндрсимон қобик марказий ва номарказий таъсир этувчи куч остида маҳаллий ёки умумий устиворлигини йўқотиши мумкин. Маҳаллий устиворликни йўқотиш асосий қобикда ёки кучайтириш панелларда юз бериши мумкин. Умумий устиворликни йўқотиш эса асосий ва кучайтирувчи панелларда бир вақтда содир бўлиб, конструкция юк кўтариш қобилитини йўқотади.

Кучайтирувчи панеллар албатта конструкциянинг фазовий бикрлигини оширади ва маҳаллий устиворликни ошувига сабаб бўлади. Бундан ташқари конструкциянинг буралма бикрлиги ҳам кескин ошибкетилади ва устиворликни оширади. Агар кучайтиргич панеллар оралиғи кам бўлса, яъни панеллар зичроқ қилиб ўрнатилса, конструкция элементларининг маҳаллий устиворлиги ҳам ошади, ва ниҳоят қобиқ сиртидаги бошланғич нуқсонларнинг критик кучга таъсирини кескин камаяди.

Қобиқни умумий устиворликка текширишда кучайтиргич панелларнинг бикрлиги уларни ўрнатиш оралиғига ёйиб юборилади. Шундай ҳисобий схема танлаш муҳандислик ҳисоблашлар учун жуда қулайлик яратади. Кучайтирувчи элементларни алоҳида алоҳида жойлашувини ҳисобга олиш билан ҳисоблаш усули аниқроқ усул бўлсада назарий ҳисоблашларни мураккаблаштиради ва амалда ўзини оқламайди. Ушбу усулни қўллаб ҳисоблаш қобиқни тайёрлаш сифати R/h нисбатига боғлиқ бўлади. Таъкидлаш жоизки, бошланғич нуқсонларнинг таъсири кучайтирилган қобиқларга қандай таъсир этиши кам ўрганилгани сабабли ҳаракатдан қурилиш меъёрларида [18] ушбу сабаб ўз ифодасини топмаган. Панеллар билан кучайтирилган ортотроп схема бўйича қобиқларни ҳисоблашда қуйидаги чекланишлар киритилади:

- кесимга тик-нормал гипотезаси асосий қобиқ ва кучайтирувчи панел кесими учун бир хил қабул қилинади;
- қобиқ ва панеллар контакт чизиғи бўйлаб амалга оширилади яъни контакт зонасида панел қалинлиги ҳисобга олинмайди;
- асосий қобиқ панели кучайтиргич панел билан бирикиш чизиғида бикр туташма ҳосил қилади деб қабул қилинади;
- қобиқ шакли идеал деб ҳисобланади, ҳар хил турдаги нуқсонлар таъсири қўшимча тузатишлар киритиш билан амалга оширилади;
- асосий қобиқ ўрта сиртига нисбатан кучайтирувчи панелларнинг оғирлик марказини силжиши ҳисобга олинмайди.

II. ҚОБИҚЛАРНИ УСТИВОРЛИККА ВА ЮК КЎТАРИШ ҚОБИЛЯТИГА СИНАШ

2.1. Қобикларни синашдан ўтказиш масаласи.

Қурилиш амалиётида конструкцияларни синаш натижаларни назария билан солиштириш муҳим аҳамиятга эга. Ҳар қандай назария тажрибаларда ўзининг тасдиғини топиши лозим.

Конструкцияларни синашдан асосий мақсад ушбу масалада модел-намуналарда бўйламасига цилиндрик панеллар билан кучайтирилган очик ҳолдаги қобикларда марказий сиқилиш бўйича кучланишларни қандай ҳосил бўлишини текширишдан иборат.

Бундан ташқари қобик танаси ва кучайтирувчи панелни маҳаллий устиворлигини йўқотишни кузатиш, қобикдаги нуқсонли камчиликларни устиворликка ва юк кўтариш қобилиятига таъсири ўрганилди. Тажриба синаш натижасидан қобикни кучайтирувчи панелни самарадорлиги ва материал сарфига таъсири ҳамда устиворлик ва юк кўтариш қобилиятини аниқлашдаги тадбиқий ҳисоблаш усуллари марказий ва номарказий юклашда текширувдан ўтказилди.

2.2. Кучайтирилган панелларни марказий сиқилишга синаш.

Қобикларни синаш учун махсус намуналар тайёрланган ва амалдаги шароитга яқин шароитда синаш ишлари ўтказилди.

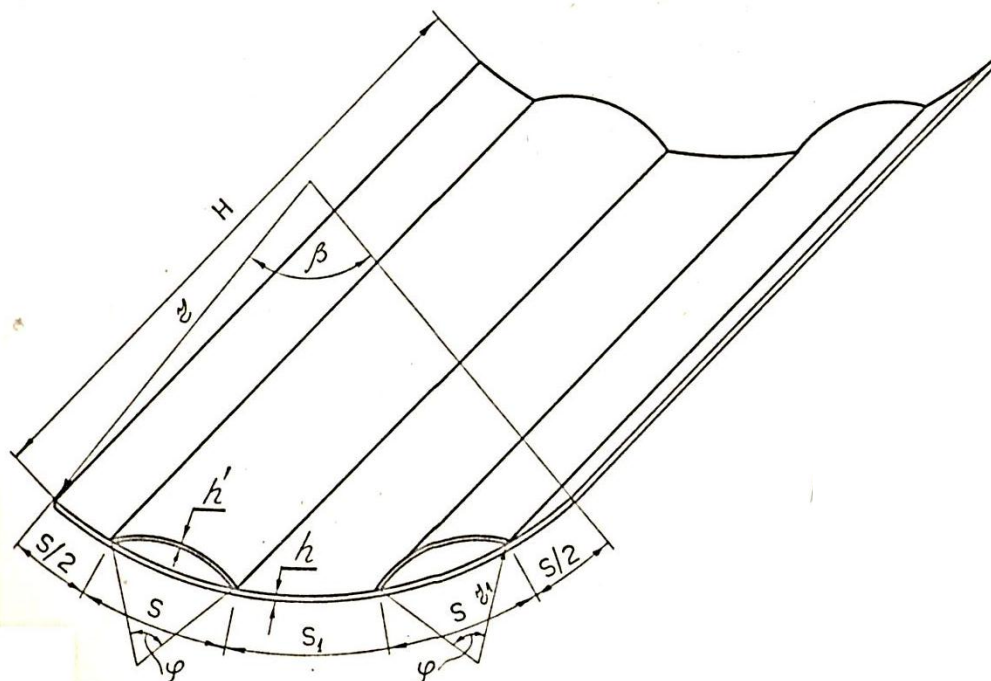
Намуналар СтЗпс5 навли пўлатдан тайёрланган. Намуна бўйламасига иккита доиравий шаклдаги панел билан кучайтирилган (2.1-расм).

Кучайтирилган намуналарнинг ўлчамларини кўрсатилган.

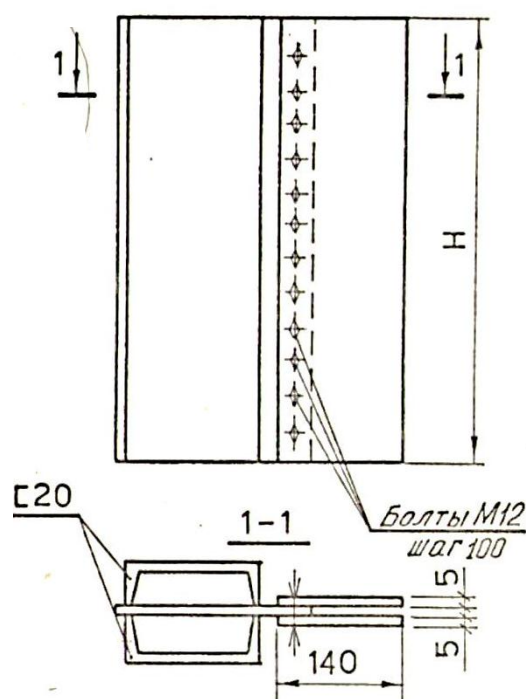
2.1 - жавдал

№	Градус		см ²	Ўлчамлари мм						
	β	φ		r	r ₁	h	h ¹	S	S ₁	H
1	65	79	137,75	1400	334	5,5	5,5	420	360	2960
2	65	79	76,49	1120	269	3,8	3,8	340	300	2360
3	67	82	44,8	840	200	2,9	2,9	260	220	1760

Панелларнинг эркин учи қирраларида махсус қистиргич билан маҳкамланган (2.2-расм). Бундай боғланиш бўйламасига кўчишга қаршилиқ кўрсатмайди. Юклашни узатиш учун намуна қирраларига махсус сегмент шаклдаги пластиналар ўрнатилади.

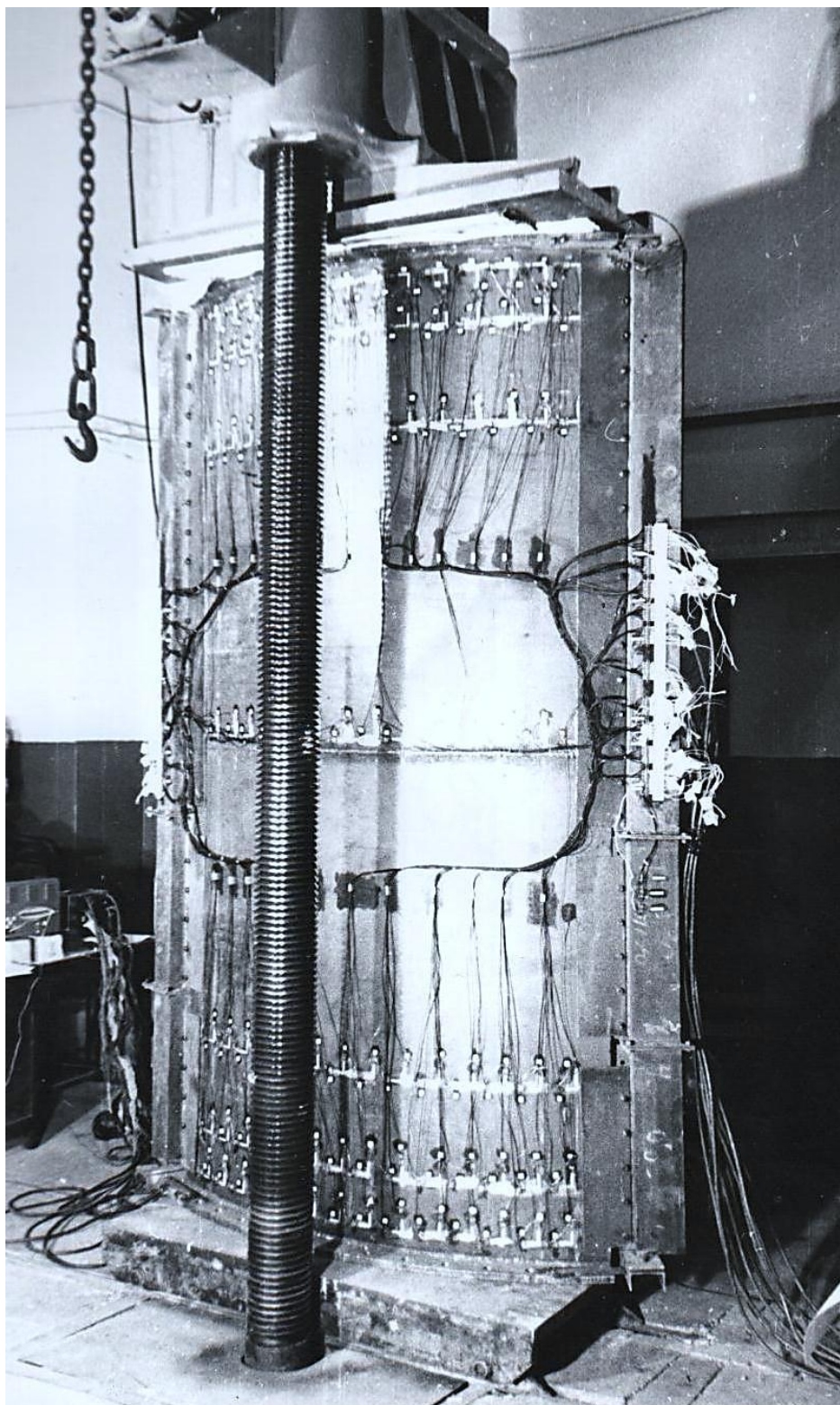


2.1-расм. Кучайтирилган цилиндрик панел.

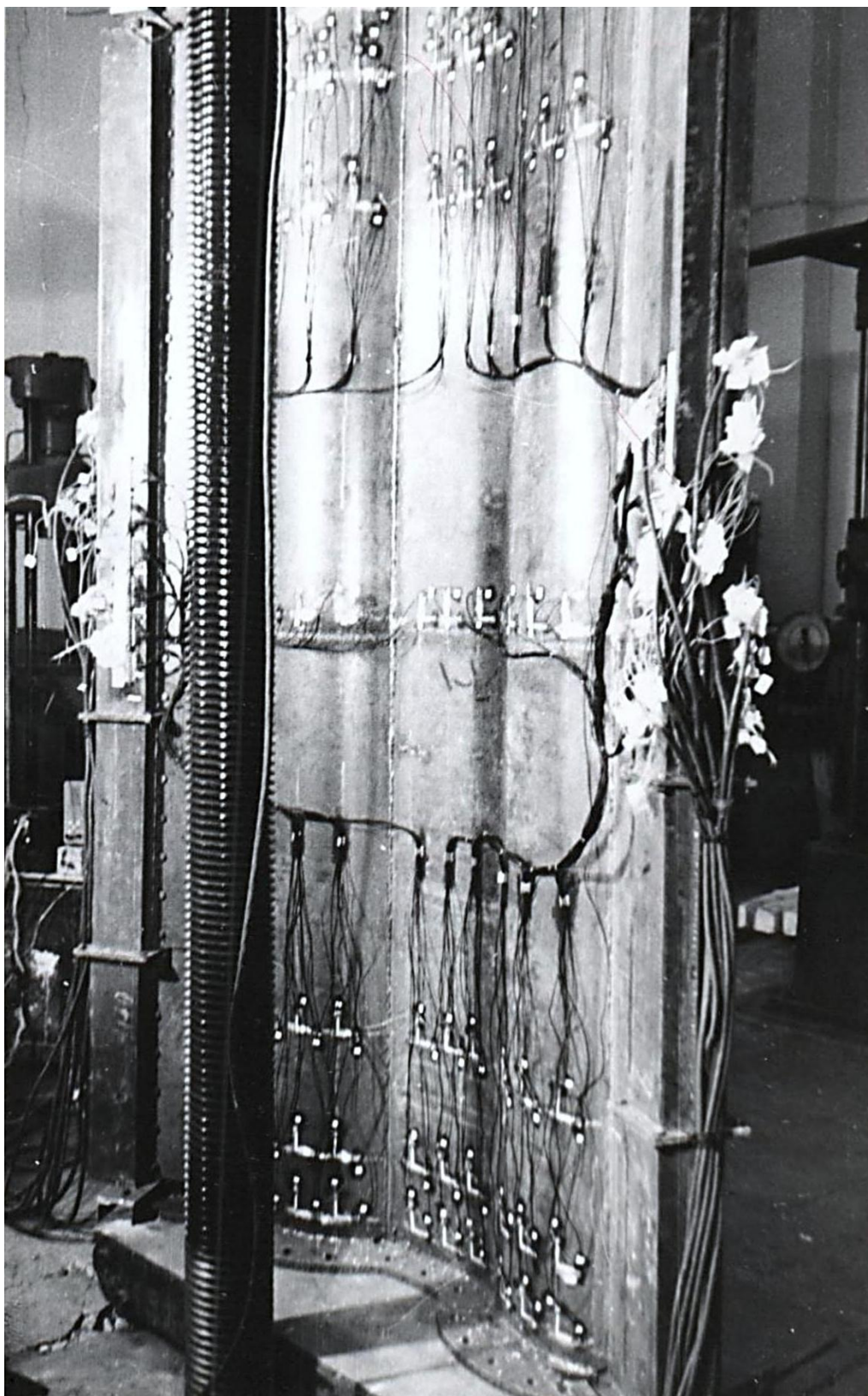


2.2-расм. Панел билан кучайтирилган цилиндрик кобиқни махкамлаш учун қўшимча қобирға.

Дастлабки олти дона намуналар ва уларни кучайтирувчи панеллар ёй бўйлаб икки листдан йиғиб тайёрланади, қолганлари яхлит листлардан тайёрланади. Қистирма қобирғалар эса икки швеллердан тайёрланди (2.2-расм). Синаш учун тайёрланган намуналар 2.3 ва 2.4 - расмларда кўрсатилган.



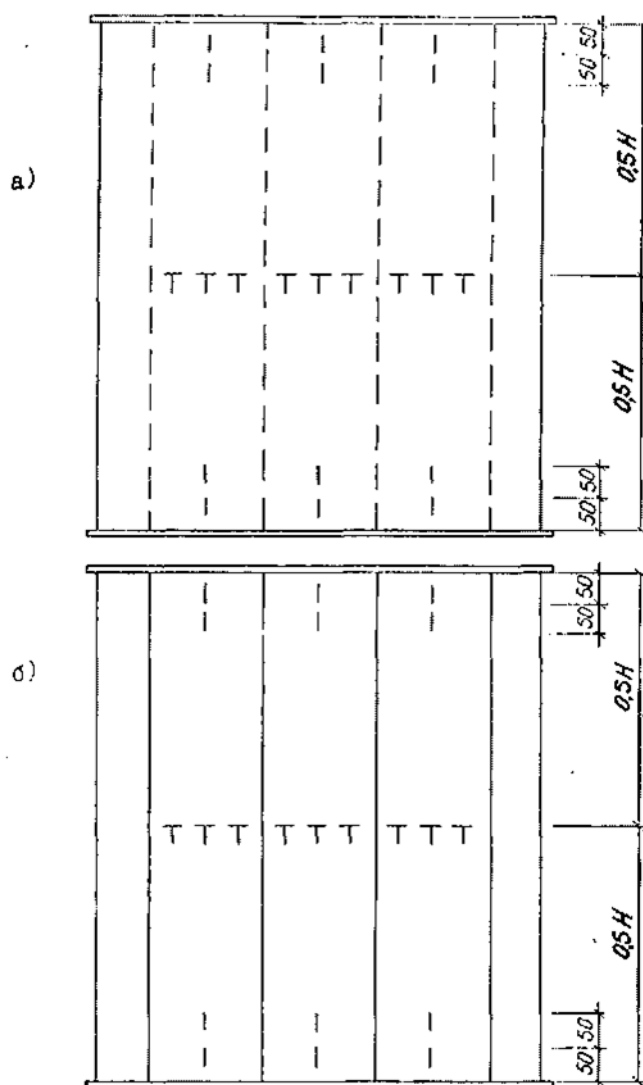
2.3-рasm(цилиндирик қобикни ташқи томонидан кўриниши)



2.4-расм. Цилиндрик кобиқни умумий кўриниши .
Ички томонидан.

Намуналарни синашдан аввал уларни тайёрлаш сифати текширилган ва куйидаги камчиликлар, нуқсонлар аниқланди: пайванд чокларни тўлиқ эмаслиги (непровар), кучайтирувчи панеллар ўрнатиладиган жойларда асосий қобик эгрилик радиусининг ортиши (пайвандлаш сабабли). Бундан ташқари ҳар бир намунада 5-8 тадан ҳар хил ўлчамдаги чуқурлиги 5-15 мм лик уйдум - чуқурликлар (нуқсонлар) мавжуд бўлган. Бундай камчиликлар асосан конструкцияни тайёрлашда ва транспортлашда ҳосил бўлади.

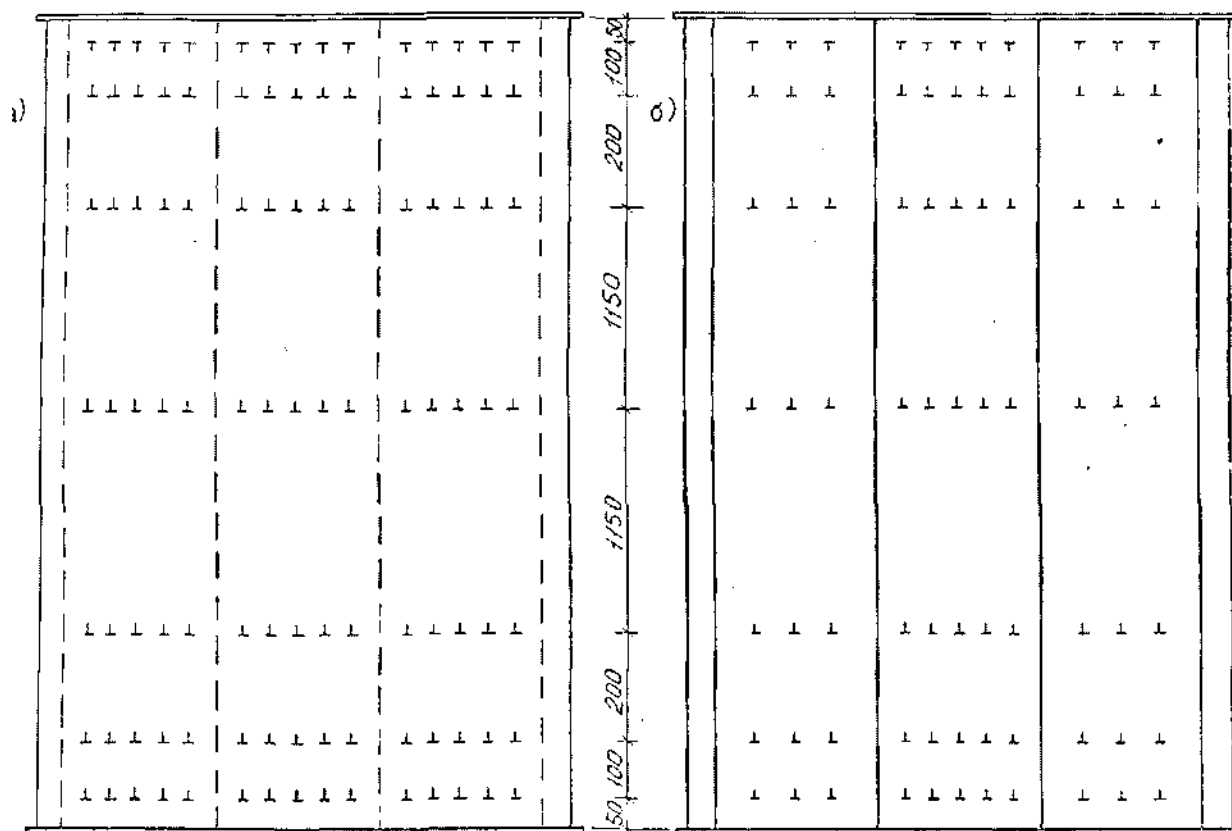
Синаш натижасида ҳосил бўлган деформациялар тензодатчиклар билан қайд этилган (2.5-расм).



2.5-расм. Қобикда ҳосил бўган киритик зўриқишни аниқлаш учун қўйилган тензодатчиклар схемаси.

Намуналарни синаш ГМС - 500 навли прессда амалга оширилди, энг катта зўриқиш 5000 кН гача етқизиш мумкин. Юкланиш ОМ-360 манометридан белгилаб берилган, юкланиш аниқлиги ± 2 кН.

Синашдан аввал кучайтирилган қобикни кучланганлик ҳолатини аниқлаш учун №1 намунага оралиғи 100 мм дан қилиб наmunани периметри бўйича 364 та тензодатчик елимланди (2.6 а, б - расм).



2.6-расм.Биринчи намуна учун қўйилган тензадачиклар схемаси.

Кучайтирилган қобиклар синовидан маълум бўлишича, кучланишлар қобикни бўйламаси ва кўндаланги бўйича бир хилда бўлмай нотекис тақсимланади, устиворликни йўқотишгача ҳолати моментли бўлади, чунки қобик сиртида ҳар хил бошланғич нуқсонлар - ботиклик, уйдум-чуқурликлар бунга асосий омил бўлади.

2.3. Устиворликка ва юк кўтариш қобиятига синаш

Махсус мосламада синалган қобиклардаги критик кучланиш ва назарий ҳисоблар натижаси 2.2-жадвалда кўрсатилган.

Махсус мосламада синалган қобиклардаги критик кучланиш ва назарий ҳисоблар натижаси.

2.2-жадвал

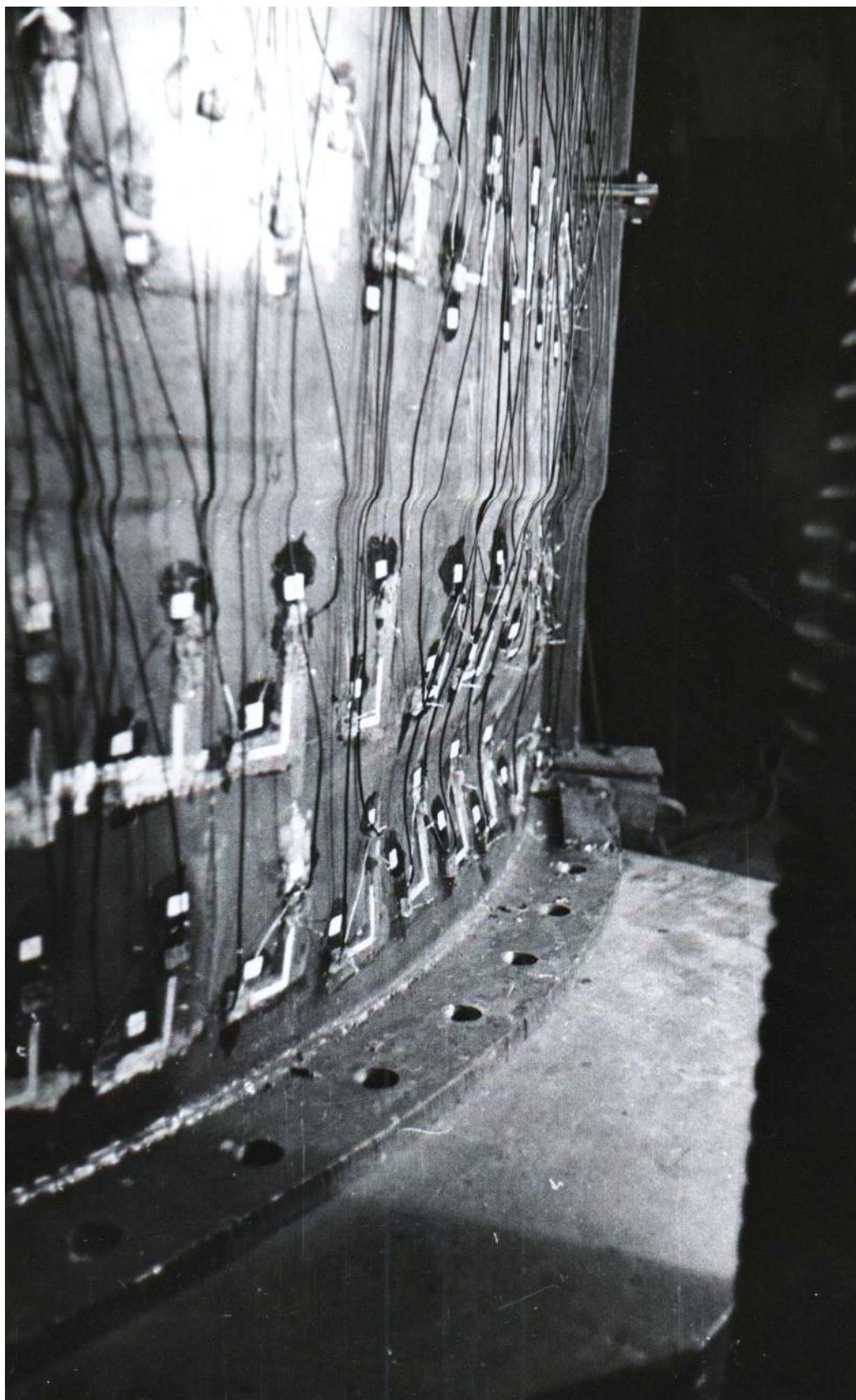
Намуна №	Синаш натижаси				Ҳисоблаш Натижаси $\sigma_{кр}^y$	Тажриба Билан Фарқи $\Delta\sigma\%$
	$P_{кр}$	$P_{кр}^y$	$\sigma_{кр}$	$\sigma_{кр}^y$		
	кН		МПа			
1	2200	2333	160	170	181	-13,1
2	2300		167			-8,4
3	2500		182			0,6
4	1000	833	131	109	139	-6,1
5	750		98			-41,8
6	750		98			-41,8
7	600	567	134	127	143	-6,7
8	600		134			-6,7
9	500		112			-27,7

№1 намуна устиворлигини йўқотиш зонаси пастки пластини ёнида содир бўлган (2.7 - расм).

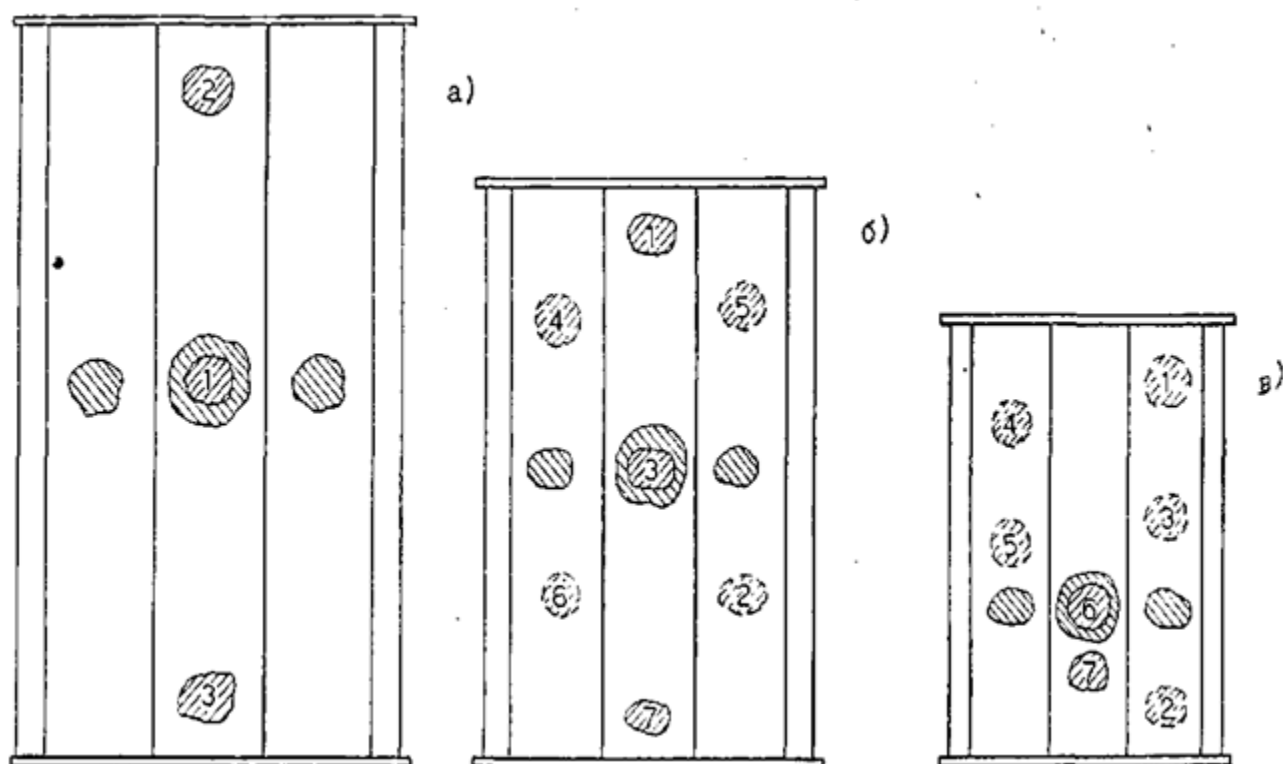
Бунга асосий сабаб, қобикни марказлаштириш билан ўрнатиш қийинлиги ва халқасимон пластинани тик жойлаштиришга эришилмагани сабаб бўлган. №2 ва №3 намуналарда устиворликни йўқотиш марказий панелда (кучайтирилмаган панелда) содир бўлган. Синаш натижасида узунлик бўйлаб учта маҳаллий эзилиш чуқурчаси ҳосил бўлган ва эгрилик радиуси томонига йўналган (2.8-расм). Чуқурчалар панелни узунлиги бўйлаб симметрик жойлашган бўлиб, расмда белгилаб кўрсатилган.

Юклаш ортган сари эзилиш чуқурчалар радиуси ортиб бораверган ва юк кўтариш қобилияти, қобикни қаршилиқ кўрсатиши камайган. Бу намуналарни юк кўтариш қобилияти кучайтирувчи панелларни устиворликни йўқотиш билан боғлиқ ва симметрик жойлашган эзилиш чуқурчалар пайдо бўлгани кузатилади (2.8 а - расм). Намуналарнинг юк кўтариш қобилиятига синаш натижаси 2.3-жадвалда келтирилган.

Бунга асосий сабаб, қобикни марказлаштириш билан ўрнатиш қийинлиги ва халқасимон пластинани тик жойлаштиришга эришилмагани сабаб бўлган. №2 ва №3 намуналарда устиворликни йўқотиш марказий панелда (кучайтирилмаган панелда) содир бўлган. Синаш натижасида узунлик бўйлаб учта маҳаллий эзилиш чуқурчаси ҳосил бўлган ва эгрилик радиуси томонига йўналган (2.8-расм). Чуқурчалар панелни узунлиги бўйлаб симметрик жойлашган бўлиб, расмда белгилаб кўрсатилган.



2.7-расм. Биринчи намунанинг ушворлиги йўқотган ҳолати. Ташқи томони.



2.8-расм. Ўрганилаётган цилиндр қобикнинг устиворлиги ҳамда юк кўтариш қобилиятини ёқотган ҳолатидаги ўйдим-чуқурликларини жойлашиш тизими.

Юклаш ортган сари эзилиш чуқурчалар радиуси ортиб бораверган ва юк кўтариш қобилияти, қобикни қаршилиқ кўрсатиши камайган.

Бу намуналарни юк кўтариш қобилияти кучайтирувчи панелларни устиворликни йўқотиш билан боғлиқ ва симметрик жойлашган эзилиш чуқурчалар пайдо бўлгани кузатилади (2.8а - расм). Намуналарнинг юк кўтариш қобилиятига синаш натижаси 2.3-жадвалда келтирилган.

2.3-жадвал

Намуна №	Синаш натижаси				Ҳисоблаш Натижаси $P_{\text{ўр}}$	Тажриба Билан Фарқи $\Delta\sigma\%$
	P	Pўр	σ	$\sigma_{\text{ур}}$		
	кН		МПа			
1	2200	2477	160	180	3210	-45,9
2	2700		196			-18,9
3	2530		184			-26,9
4	1300	1417	170	185	1660	-27,4
5	1550		203			-7,1
6	1400		183			-18,6
7	1000	967	223	216	970	3,3
8	1000		223			3,3
9	900		201			-7,4

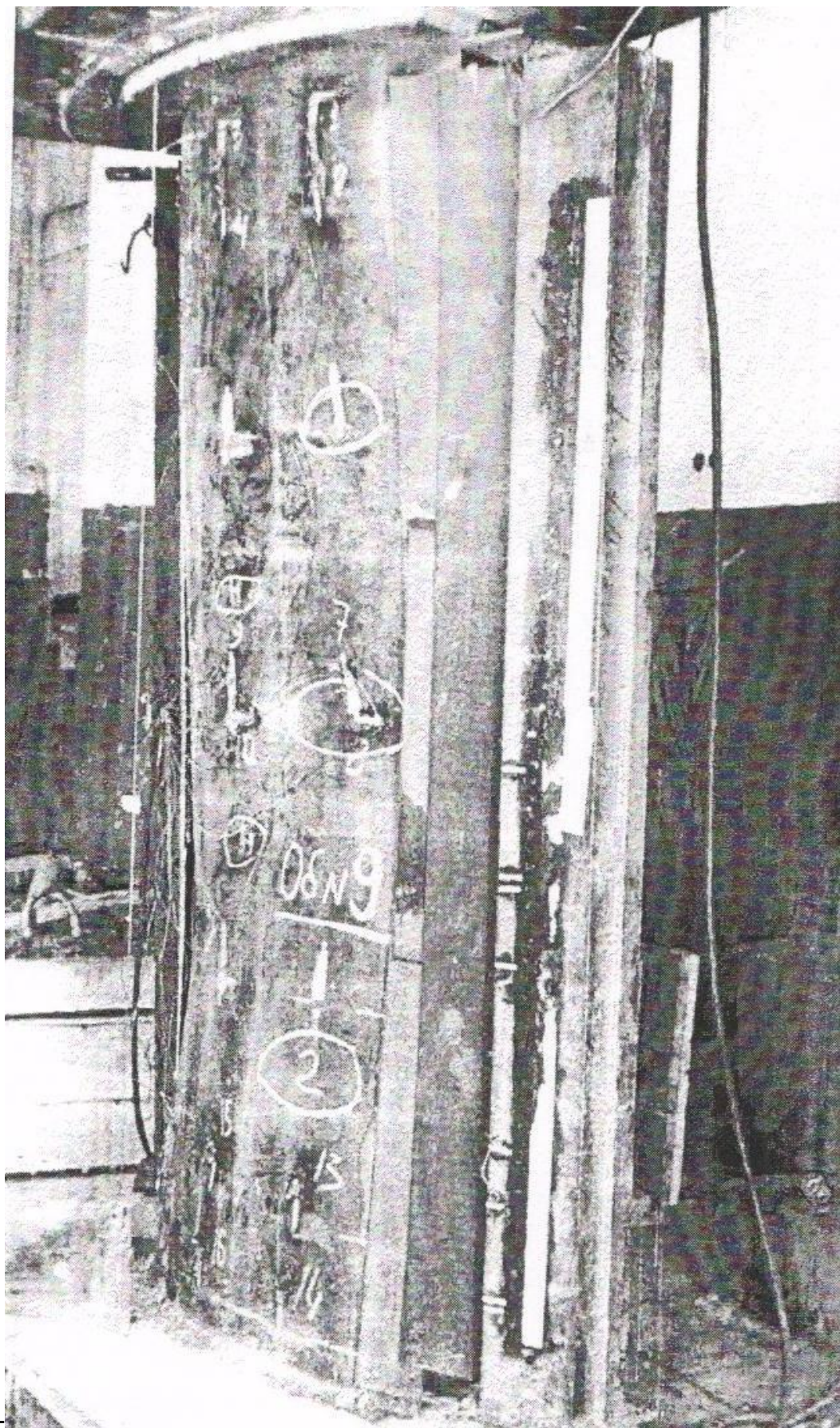
Иккинчи гуруҳ намуналари устиворлигини йўқотиш деярли бир хил бўлган. 2.8 б - расмда №5 намунада ҳосил бўлган эзилиш чуқурчалари устиворлигини йўқотиш давомидаги кетма-кетлик билан жойлаштирилган Намуналарни юк кўтариш қобилиятини йўқотиш устиворликни йўқотишдан сўнг содир бўлган ва кучайтирувчи панеллар устиворлигини йўқотишдан ҳосил бўлади (2.13-расм).

2.2 ва 2.3 жадваллардан кўриниб турибдики №4 намунадаюк кўтариш қобилияти бошқа намуналарга нисбатан юқори чунки №5 ва №6 намуналарда бошланғич нуқсонлар - ботиқликлар кўпроқ бўлган. Синашдаги намуналар орасида фарқ кўп эмас.

2.8 б-расмда №9 намуна устиворлигини ва юк кўтариш қобилиятини йўқотишда чуқурчаларни жойлашув схемаси кўрсатилган . Учинчи гуруҳ намуналарини синашда ҳамда олдин синалган қобиқлардаги кўрсаткичлар кузатилган (2.10 – расм).



2.9-расм.5 намуна устиворлигини йқотган давр.



2.10-расм. 9 чи намуна устиворлигини йкотган даври.

2.4. Синаш натижалари тахлили, ҳисоблар билан солиштириш.

Синаш натижалари одатда статистик ҳарактерга эга бўлади, чунки ҳар хил кўринишдаги тасодифий четланишни (нуқсонларни) ҳисобга олиш иложи бўлмай қолади. Шунинг учун синашларни қандайдир ўртачасини аниқлаш учун статистик ишлов берилади. Бунда тасодифий миқдорларни меъёрий тақсимланиш қонунияти қабул қилинади.

Қобикларни синаш натижасида олинган қийматлар бўйича устиворликка ва юк кўтариш қобилиятига текшириш учун ишланмалар 2.4 ва 2.5 - жадвалларда берилган.

Жадвалда белгилаш ва ҳисоблаш қуйидагича:

P_i - ҳар бир намуна учун устиворликни йўқотиш ва юк кўтариш қобилиятини йўқотиш миқдори:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad - \text{ҳар бир гуруҳ учун ўрта арифметик қиймати};$$

n - намуналар сони;

$\varepsilon_i = P_i - P$ - ўрта арифметик қийматдан четланишлар миқдори;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - P)^2}{n - 1}} \quad - \text{стандарт четланиш};$$

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n |\varepsilon_i - I|}{\sqrt{n(n-1)}} \quad - \text{ўртача оддий хатолик}.$$

$$\sigma_{\text{ско}} = \eta \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad - \text{ўртача квадратик хатолик}.$$

Жадвалда кўрсатилган рақамлардан кўриниб турибдики, ҳар бир гуруҳда ўтказилган синашлардаги стандарт чегланишлар (σ) ва ўртача квадратик хатолик ($\sigma_{\text{ско}}$) қониқарли деб қабул қилиш мумкин. Синашдан ҳосил бўлган қиймаларни статистик ишлаб чиқишдан кўриниб турибдики, хатоларни меъёрий тақсимланиш қонунини ишлатиш мумкин. Ўртача квадратик четланишлар катта қийматларга эга эмас.

Биринчи гуруҳ намуналарида биринчисидан ташқари иккитасида устиворликни йўқотиш кучайтирилмаган панелни марказий қисмида қобик

узунлигини ўртасида содир бўлган. Бузувчи юк қиймати ($P=2700$ кН) №2 намунада эришилган, аммо шу намуна №3 намунага нисбатан устиворлигини йўқотиш 8% га кам, №3 намуна эса, $P=2530$ кН да юк кўтариш қобилияти йўқотган. Демак, №2 намунада кучайтирувчи панеллар яхши ўрнатилган деб хулоса бериш мумкин.

Шу намунада бошланғич нуқсонлар (эзилишлар) - чуқурчалар кам, эгрилик радиуслари лойиҳа билан бир хил бўлган.

2.4-жадвал

№	P _i	P	ε _i	ε _i ²	σ	η	σ _{сКО}
	κH						
1	2200	2333	-133	17689	153	136	171
2	2300		-33	1089			
3	2500		167	27889			
Σ	7000		333	4667			
4	1000	833	167	27889	144	136	171
5	750		-83	6889			
6	750		-83	6889			
Σ	2500		333	41667			
7	600	567	33	1089	58	54	68
8	600		33	1089			
9	500		-67	4489			
Σ	1700			6667			

Иккинчи гуруҳдаги қобиқлар худди олдинги гуруҳдаги намуналар каби устиворлигини йўқотиб, ўшаларга ўхшаш жойларда ва шаклда кучайтирилмаган панелда бўлган.

Устиворликни йўқотиш олдинги намунага нисбатан тахминан 53% паст бўлган. Бундан хулоса қилиш мумкинки, қобиқлардаги мавжуд бошланғич нуқсонлар (эзилишлар) уйдум - чуқурликлар устиворликдаги критик кучланишга жиддий таъсир кўрсатади, айниқса юпқа деворли конструкцияларда шу сабаб жиддий хавф туғдиради. Ушбу гуруҳдаги қобиқлар қалинлиги 3,8 мм ли пўлатдан тайёрланган эди.

Айрим намуналарда , хусусан №5 намунада устиворликни йўқотишдан сўнг ҳам юк кўтариш қобилияти давом этгани кузатилган, яъни юк кўтариш қобилияти, устиворликка нисбатан 107 % ни ташкил этди. Ҳолбуки, бошқа учта намунада бу кўрсаткич ўртача 70 % ни ташкил этди. Критик кучланишни пасайишига алоҳида лист - ўқларининг мос эмаслиги, пайванд чокларни мукамал эмаслиги ҳам сабаб бўлган.

2.5-жадвал

№	P _i	p	ε	ε _i ²	σ	η	σ _{ско}
	κH						
1	2200	2477	-277	76729	254	226	283
2	2700		233	49729			
3	2530		53	2809			
Σ	7430		533	12967			
4	1300	1417	-117	13689	126	109	137
5	1550		133	17689			
6	1400		-17	289			
Σ	4250		267	31667			
7	1000	967	53	1089	58	54	68
8	1000		33	1089			
9	900		67	4489			
Σ 2900		133	6667				

Учинчи гуруҳда синалган қобикларни устиворлиги дастлабки икки гуруҳдан фарқ қилди. Устиворликни йўқотиш асосий қобикни кучайтирилган панелларида содир бўлиб, иккинчи гуруҳ қобикларига нисбатан 17 % юқори кўрсаткич берди. Шу гуруҳдаги қобикларда кўп сонли бошланғич нуқсон (эзилиш) ўйдим - чуқурликлар мавжуд бўлган, аммо асосий қобик ва кучайтирувчи панеллар яхлит листлардан тайёрланган. Шу сабаб бўлса керак, устиворлик ҳам юқори кўрсаткичга эришган. Қобикларни юк кўтариш қобилияти материални ҳисобий қаршилигидан ортган, бузувчи куч эса критик кучдан 71 % ортиб кетган.

Назарий ва амалий (синаш) натижаларидан кўриниб турибдики (2.2 - жадал), биринчи ва учинчи гуруҳ қобикларидаги ҳисоблаш ва синаш кўрсаткичлари бир-бирига яқин ва қониқарли яқинлашган. Охирги икки намунада кескин фарқ кузатилган ҳолос. Бунга асосий сабаб қобикда кўп сонли бошланғич нуқсонлар (эзилишлар) мавжуд бўлиб, уларнинг амплитудаси қобик қалинлигидан 1,5÷2,6 марта катта бўлган. Синов ишларини ўтказишда ҳам айрим камчиликлар ва ноаниқликларни ҳам эътибордан қочирмаслик керак.

Хулоса қилиб айтиш мумкинки, назарий ҳисоблашларни бажаришда қобикдаги бошланғич нуқсонлар (эзилиш) ўйдим-чуқурларни ҳисобга олувчи коэффициент [2] ишлатилган коэффициентни эътиборга олиш реал шароитда бир мунча қийин.

2.5. Минора секцияларининг устиворлигини ва юк кўтариш қобилиятини синовдан ўтказиш

Минора секцияси цилиндр шаклидаги конструкция бўлиб ички томонидан доиравий панеллар билан бўйламасига кучайтирилади. Минора секцияларини бир-бирига бирлаштириш- йиғиш учун секция чеккаларига фланецлар маҳкамланади ва улар пайвандланади.

Асосий қобик бешта эгри листдан иборат бўлиб, бўйламасига пайвандланади. Кучайтирувчи панеллар эса, очик хилдаги 83° бурчакли цилиндрсимон шаклга эга. №2 Намунадаги панел иккита листдан иборат бўлган ва айланасига пайванд чок билан бирлаштирилган, қолган намуналардаги панеллар учта листдан иборат. Асосий қобикнинг қалинлиги ўлчаб қўйилган (сартамент билан боғлиқ эмас). Қобик-конструкция ўлчамлари 2.11- расмда кўрсатилган.

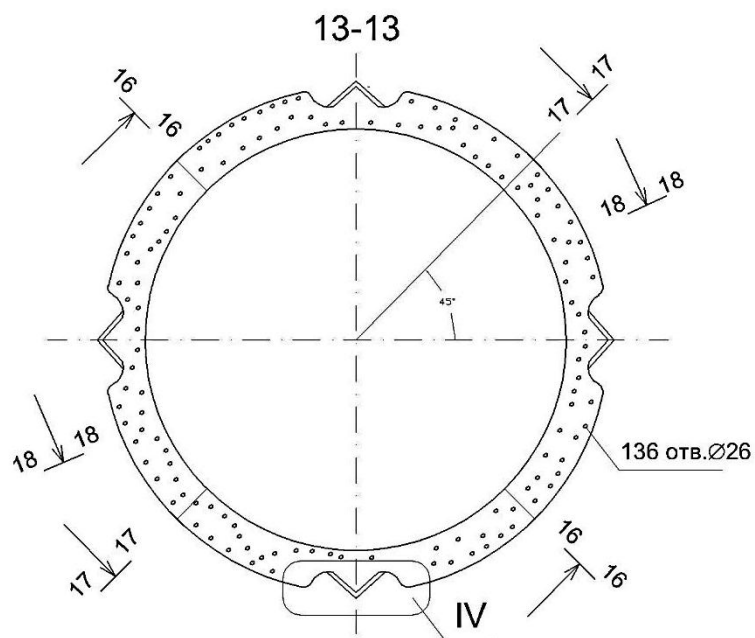
Ташқи томондан қарама-қарши иккита бурчакли пайвандланган. Ушбу қобирғалардан юклар ва шамол таъсири қобикқа узатилади. Йиғиқ кучлар таъсир этувчи жойларга кучайтирувчи панеллар ўрнатилган ва улар асосий қобик билан биргаликда зўриқишларни қабул қилади. Асосий қобик панелни эни 416 мм ташкил этади ва кучайтирилмаган панел энига тенг.

Фланецлар ҳақасимон пластинадан ташкил топган ва бир-бирига учма-уч пайвандланган тўртта сегментдан иборат.

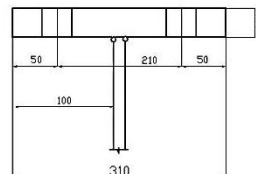
Барча намуналарнинг асосий танаси, кучайтирувчи панеллари ва фланецлари 09Г2С - 12 навли кам легирланган пўлатдан тайёрланган. Пайвандлаш ярим автоматлашган усулда Св - 08Г2С электрод билан пайвандланган. Чокларни сифати махсус текширувдан ўтказилган.

Минора секциясини синашдан олдин диққат билан назоратдан ўтказилган ва кўп сонли камчиликлар, ҳар хил нуқсонлар, (эзилишлар), алоҳида листларнинг ўқлари мос келмаслиги аниқланди. 2.12 - расм ва 2.14 -расмларда минорани сифат тахлили чизилган. 2.12 - расмдан кўриниб турибдики, цилиндрни ясовчиси 8-20 мм ўйдим - чуқурликларга эга экан.

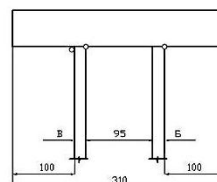
Бошлангич эзилишларнинг радиуси асосан цилиндр марказига йуналган № 2 намуна уч марта жувалаш (валцовкалаш) билан лойихага мувофиқ тайёрланган. Қолган икки намуна бир марта жувалаш (ёйиш) билан тайёрланган. Жувалаш натижасида лист қирралари тўғри чизикли бўлган.



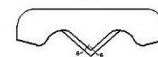
15-15



16-16



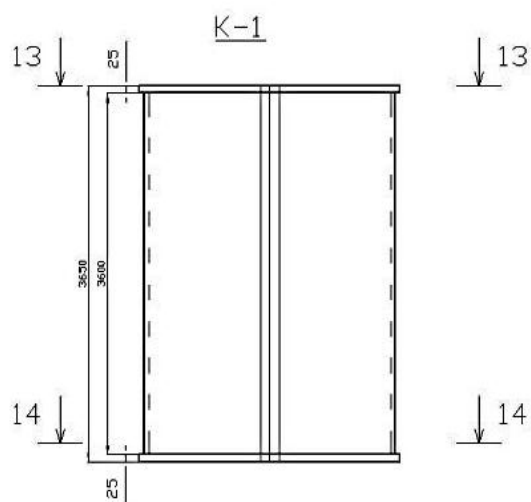
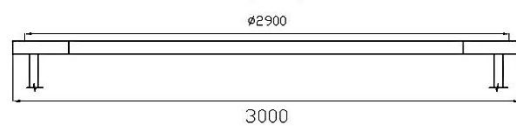
IV



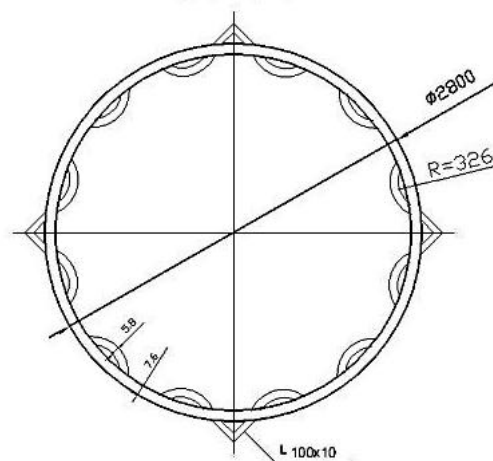
17-17



18-18



14-14



[illegible]

		350	
		360	36000
		130	
		375	
			36000
		345	
25	1800	1800	25

2.13-pa

B /

		350	
		350	
		130	
		360	
		370	

O /

2.6. Синаш усули ва аппаратураси.

Минора конструкциясидаги кучланишларнинг ҳосил бўлиш характерини ўрганиш учун базаси 20 мм ли тензорезисторлар қўлланилади. Қаршиликларни қабул қилиш учун ЦТМ - 3 автоматлашган балансировкадан фойдаланилди. Асбобнинг улчаш бирлиги $1 \cdot 10^5$ аниқликка эга.

Намуналарга юкланиш узатиш ДГ-200 навли домкрат билан амалга оширилади ва энг катта юк 200 кН га етказиш мумкин. Домкратда ҳосил қилинадиган босим ОМ-400 манометри (шкаласи 0 - 40 МПа) орқали 0,4 МПа бўлинмалари билан босим узатилади. Синовдан олдин барча домкратлар тарировкадан ўтказилди.

Синаш тажрибаси махсус мосламаларда - стендда ўтказилди. Намуналарни синаш уч босқичда амалга оширилди. Биринчи босқичда икки домкрат ишга туширилган ва 500 кН дан 2000 кН гача сиқувчи куч узатилган.

Босим 2000 кН га етганда намунадаги марказий бўйлама куч $P=2000\text{кН}$, эгувчи момент $M=7560\text{кНм}$ га етади.

Юкланишни иккинчи босқичида учинчи домкрат ишга туширилган ва 500 кН босқичли юк билан 2000 кН га етказилган.

Юкланишни учинчи босқичида домкратларни тўсгич вентиллари очилган ва юк 3000 кН га кўтариш (оралиқ 200 кН билан). Агар қобик шу юкка бардош берса, юк оширилган ва устиворликни йўқотиш, сўнгра юк кўтариш қобилиятини йўқотишгача етказилган.

Уччала қобик ҳам устиворлигини йўқотиш ҳолатигача юкланган (асосий қобик панеллари устиворлигини йўқотган) ва юк кўтариш қобилияти кучайтирувчи панеллар билан биргаликда устиворлигини йўқотишда содир бўлган.

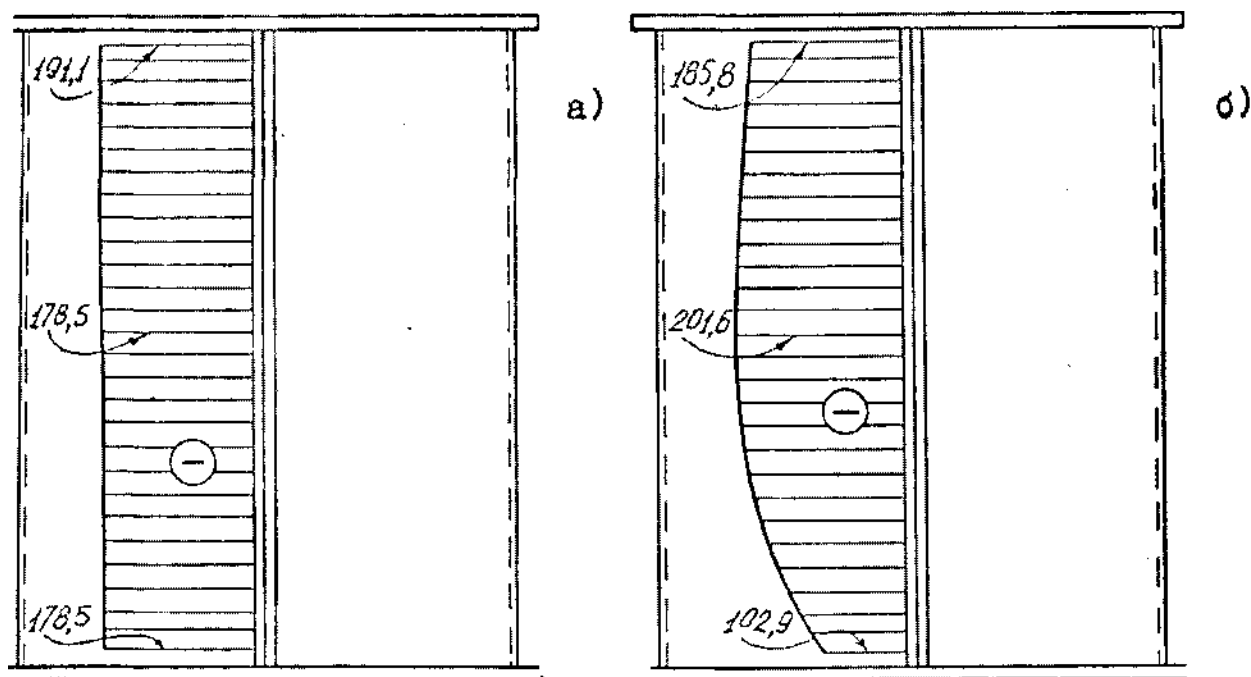
2.7. Синаш натижалари. Ҳисоблаш билан солиштириш

Минора бўлимлари (секция) ни синашда кесимларда ҳосил бўлган критик кучланиш ва бузувчи куч миқдорини аниқлашга имкон яратди.

Бундан ташқари конструкцияни устиворлигини йўқотиш характери ҳам аниқланди. Уччала намуна ҳам бир хил дастур асосида синалди.

2.14 - расмда қобик кўндаланг кесимида кучланишларни ўзгариш эпюраси кўрсатилган. Эгувчи момент $M=15120\text{кНм}$ таъсир этгандаги кучланишга мос келади. Эпюрадан кўриниб турибдики, кучланиш кўндаланг кесим бўйича текис

таксимланади ва баландлик бўйича ўзгармай қобик материални ҳисобий қаршилигидан ортиб кетмайди.



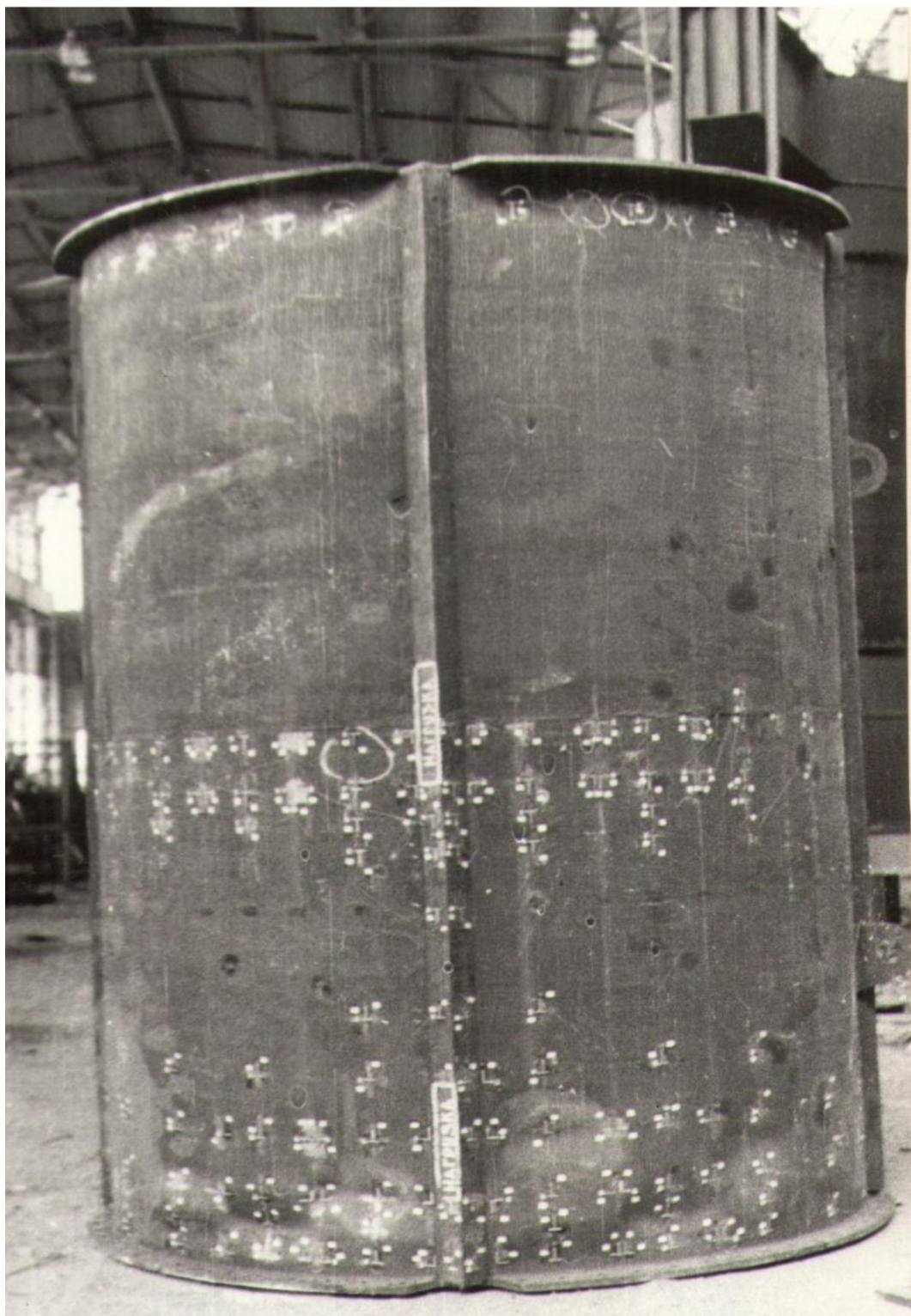
2.14-расм.эгувчи моментни цилиндрик қобикни кўндаланг кесимидаги ҳолати
(тасир этаётган эгувчи момент миқдори $M=15120\text{кНм}$)

Юкланишни охириги босқичида $P=100\text{ Кн}$, $M=18900\text{ кНм}$ зўриқишларга мос ҳолда қобик кесимидаги кучланиш $\sigma=286\text{ МПа}$ ни ташкил этади, қобик материалнинг ҳисобий қаршилиги (σ) = 290 МПа .

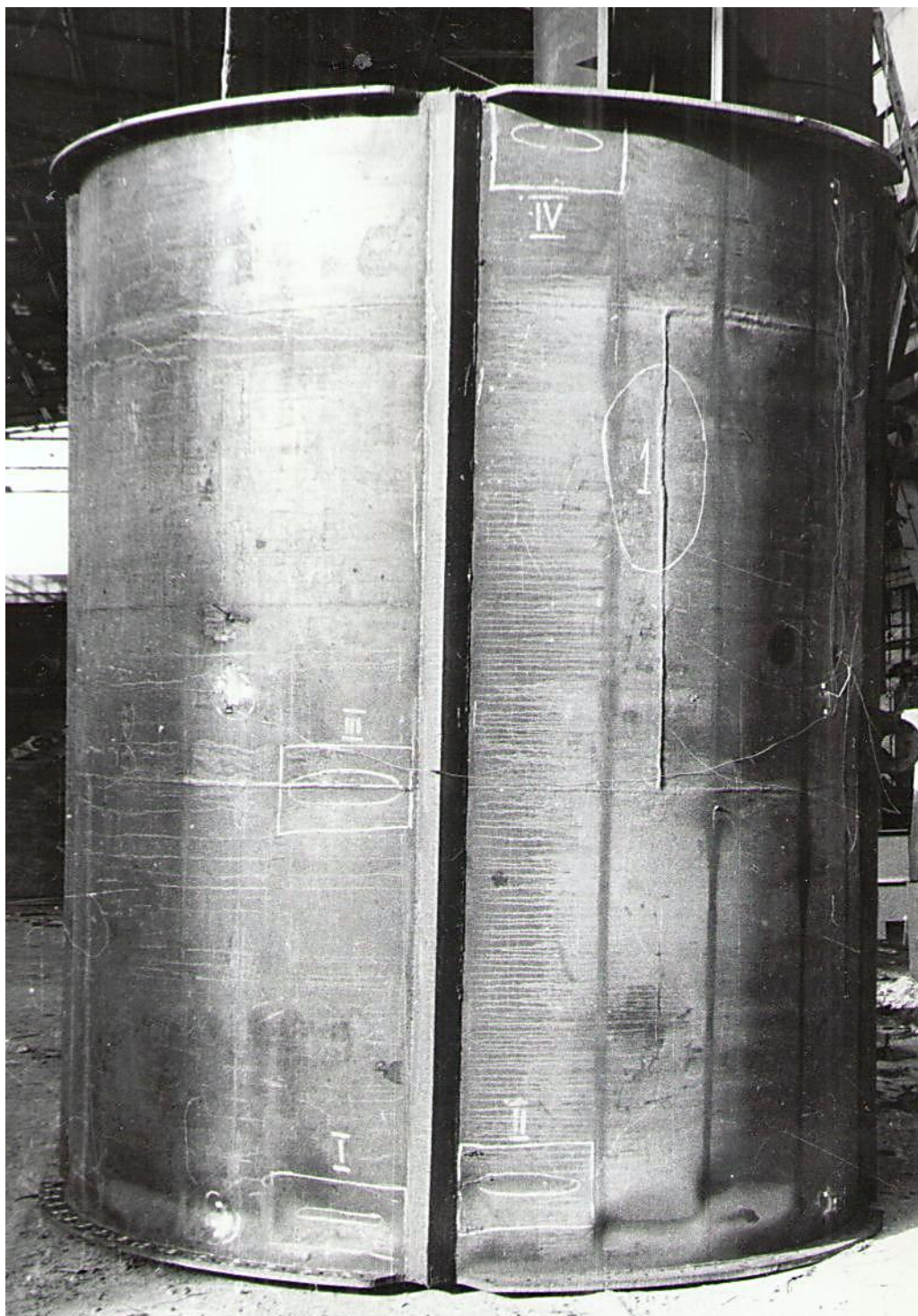
Қобикларни синаш бўйича ўтказилган тажрибалар бўйича устиворликни йўқотиш ва юк кўтариш қобияти ҳақидаги маълумотлар 2.6 ва 2.7-жадвалларда кўрсатилган. Жадвалларда критик кучланиш ва бузувчи юкни ҳисоблаш билан аниқланган қийматлар ҳам кўрсатилган.

2.6 - жадвал

Намуна №	Синаш натижаси					Ҳисоблаш Натижаси σ	Тажриба билан фарқи Δσ%
	М	Р	σ _{max}	σ ^y max	Δσ max		
	кНм	кН	МПа				
1	19278	1700	299	305	-6	306	-2,3
2	20412	1800	316		11		3,2
3	19278	1700	299		-6		-2,3



2.15-расм.1 чи намуна цилиндрик қобикни устиворлигини йўқотган вақти.



2.16-расм. 2-чи намуна цилиндрик қобикни устиворлигини йўқотган вақти.

Биринчи ва учинчи намуна устиворлигини йўқотиши бир хил юк остида асосий қобикни кучайтирилган қисмларида содир бўлган ва йўналтирувчи бурчаклини иккала томонидан мавжуд (2.15- расм).

Қобикни узунлиги бўйлаб ҳар бир панелда иккитадан эзилиш ҳосил бўлган ва эгрилик томонга йўналган. Эзилишлар панелни ўртасига нисбатан симметрик жойлашган бўлиб пастки қиррадан 100-120 мм масофада жойлашган. Иккинчи намуна - қобикни бир неча жойида бирдагина эзилишлар ҳосил бўлиш билан устиворлик йўқола бошлаган. Аввал пастки қисмида (2.16-расм) I ва II рақамлар) сўнгра халқа атрофидаги чокди (III) ва ниҳоят қобикни юқори қисмида (IV қисм) эзилиш ҳосил бўлган. Барча эзилишлар қисқа муддат орасида содир бўлган.

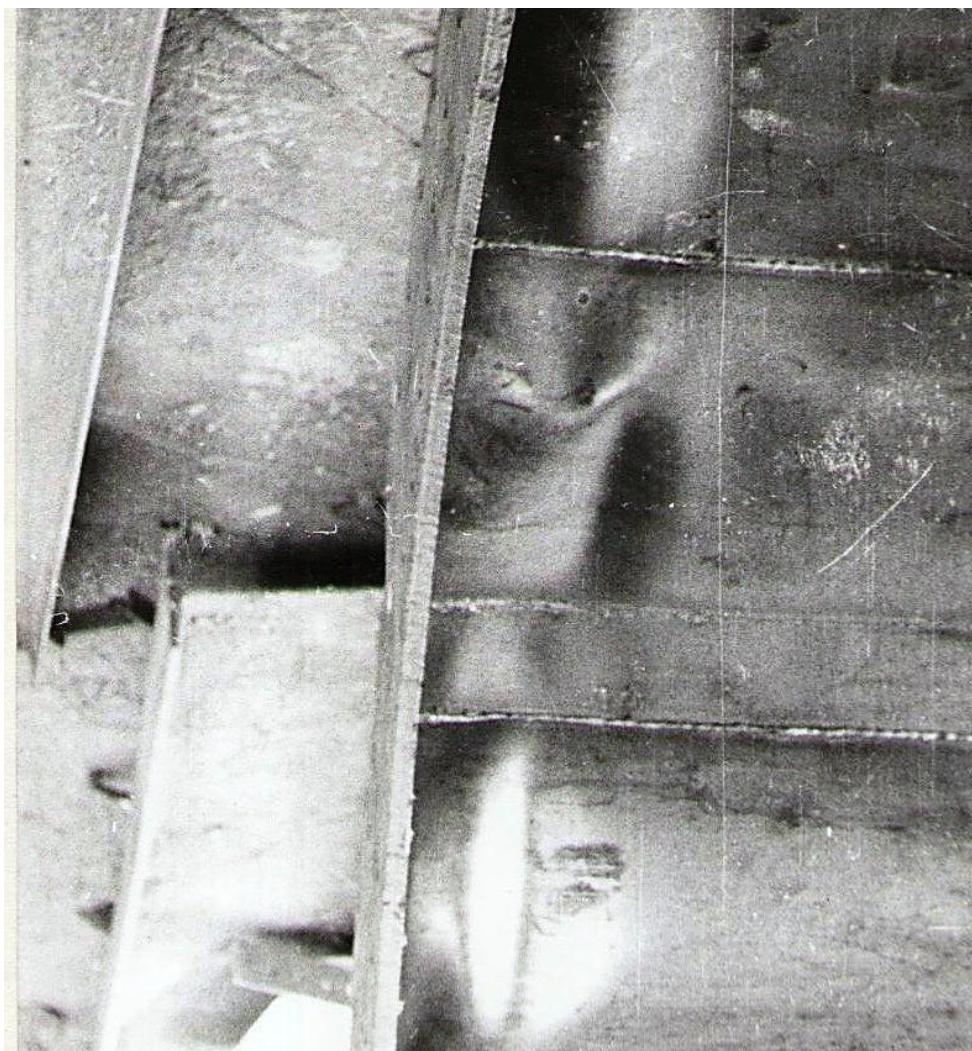
2.7 - жадвал

Намуна №	Синаш натижаси					Ҳисоблаш натижаси М/Н кНМ/кН	Синаш билан фарқи ΔМ%
	М	Р	σ max	σ ^y max	Δσ max		
	кНм	кН	МПа				
1	20979	1850	325	328	-3	21427/2000	-2,1
2	22113	1950	343		15		3,1
3	20412	1800	316		-3		-5

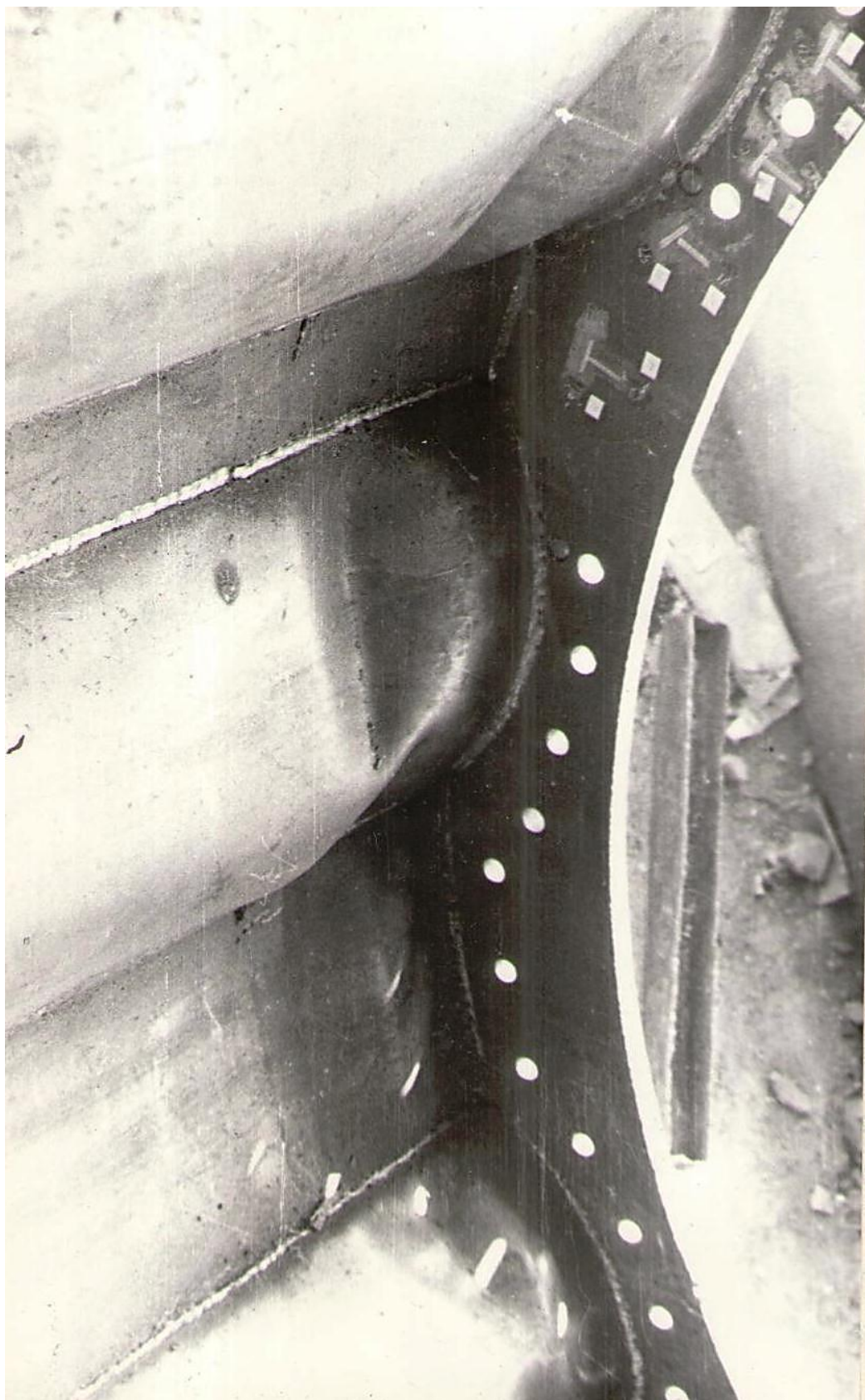
2.6 - жадвалдан кўриниб турибдики, барча намуналар учун критик кучланиш материалнинг пропорционаллик чегарасидан етарлича юқорида жойлашган.

Қобиклар устиворликни йўқотишдан сўнг ҳам юк кўтара олишни давом этдирган. Устиворлигини йўқотган панеллардаги эзилиш чуқурлиги ортиб борган, кучайтирилмаган қўшни панелларда эзилишлар пайдо бўла бошлаган, юк кўтариш қобилияти йўқолганда кучайтирувчи панеллар ҳам устиворлигини йўқотган (2.17-расм, 2.18 - расм) ва деформация юкланишсиз ортиб борган.

Устиворликни йўқотиш (2.6-жадвал) ва юк кўтариш қобилияти (2.7жадвал) солиштирилганда қобик устиворлигини йўқотгандан сўнг ҳам бир мунча юкни қабул қилиш қобилитини сақлаб қолар экан. Бундай ҳолатнинг асосий сабаби кучайтирувчи панеллар бўлиб, улар юқори оқритик кучланишга эга бўладилар. Иккала жадвалдаги синашни ҳисоблаш натижасига солиштирганда фарқ кўп эмаслиги кўриниб турибди.



2.17-расм.1чи намуна цилиндрик қобикни устиворлигини йўқотган вақти.Ташқи томондан.



2.18-расм. 2 чи намуна ички томондан.

Номарказий сиқилишда устиворлик бўйича олинган натижаларни статистик ишлаш 2.8а ва 2.8б - жадвалларда, юк кўтариш қобилияти бўйича 2.9а ва 2.9б - жадвалларда берилган.

2.8а - жадвал

Намуна №	Pi	P	ε_1	ε_i^2	σ	η	σ_{CKO}
	кН						
1	1700	1733	-33	1089	58	54	68
2	1800		67	4489			
3	1700		-33	1089			
Σ	5200		133	6667			

2.8 б - жадвал

Намуна №	Mi	M	ε_1	ε^2_i	σ	η	σ_{CKO}
	кН						
1	19278	19656	-378	142884	655	617	773
2	20112		756	571536			
3	19278		-378	142884			
Σ	58968		1512	857304			

2.9 а - жадвал

Намуна №	P _i	P	ε ₁	ε ² _i	σ	η	σ _{CKO}
	кН						
1	1850	1867	-17	289	76	68	85
2	1950		83	6889			
3	1800		-67	4489			
Σ	63504		167	11667			

2.9 б- жадвал

Намуна №	M _i	M	ε ₁	ε _i ²	σ	η	σ _{CKO}
	кНМ						
1	20979	21168	-189	35721	866	772	968
2	22113		945	893025			
3	20412		-756	571536			
Σ	63504		1890	1500282			

Аниқроқ маълумотлар олиш учун одатда бир хилдаги кўп сонли намуналар синалади. Материал ва намуналар тайёрлашда меҳнат сарфини ҳамда айрим сабабларга кўра фақат учта намуна синовдан ўтказилди. Шунга қарамасдан синов натижалари уччала қобиқ учун кескин фарқ қилмайди.

Хулоса қилиб айтиш мумкинки, цилиндрик панеллар билан кучайтирилган қобиқлар ишонч билан ишлайди.

III. ПАНЕЛЛАР БИЛАН КУЧАЙТИРИЛАДИГАН ЦИЛИНДИРСИМОН ҚОБИҚЛАРНИНГ УСТИВОРЛИГИ ВА ЮК КЎТАРИШ ҚОБИЛЯТИ

3.1. Бўйлама панеллар билан кучайтирилган қобикни марказий сиқилишда умумий устиворликка ҳисоблаш.

Конструктив ортотроп схема бўйича бўйлама панеллар билан кучайтирилган қобикдаги критик кучланишларни аниқлаш учун ҳақиқий ва эквивалент қобик элементини келтирилган бикрлик параметрлари ифодаси келтириб чиқарилади.

Қобик кўндаланг кесимининг келтирилган бикрлик параметрлари қуйидагича йфодаланади:

$$B_1 = E h_1; D_1 = D \left(1 - \frac{S}{a_1}\right) + E i_1 \quad (3.1)$$

Бу ерда $h_1 = h \left(1 - \frac{S}{a_1}\right) + \frac{f_1}{a_1}$ - қобик кўндаланг кесимини келтирилган қалинлиги;

$D = \frac{E h^3}{12(1-\mu^2)}$ - кучайтирилмаган қобикни цилиндрлик бикрлиги;

h - асосий қобик деворини қалинлиги;

μ - материал учун Пуассон коэффициентини;

a_1 - кучайтирувчи панел симметрия ўқлари оралиги;

S - кучайтирувчи панеллар оралигидаги асос қобик ёйи узунлиги;

$i = \frac{I a_1}{a_1}$ - асосий конструкция оғирлик марказига нисбатан кучайтирувчи панелнинг погон инерция моменти;

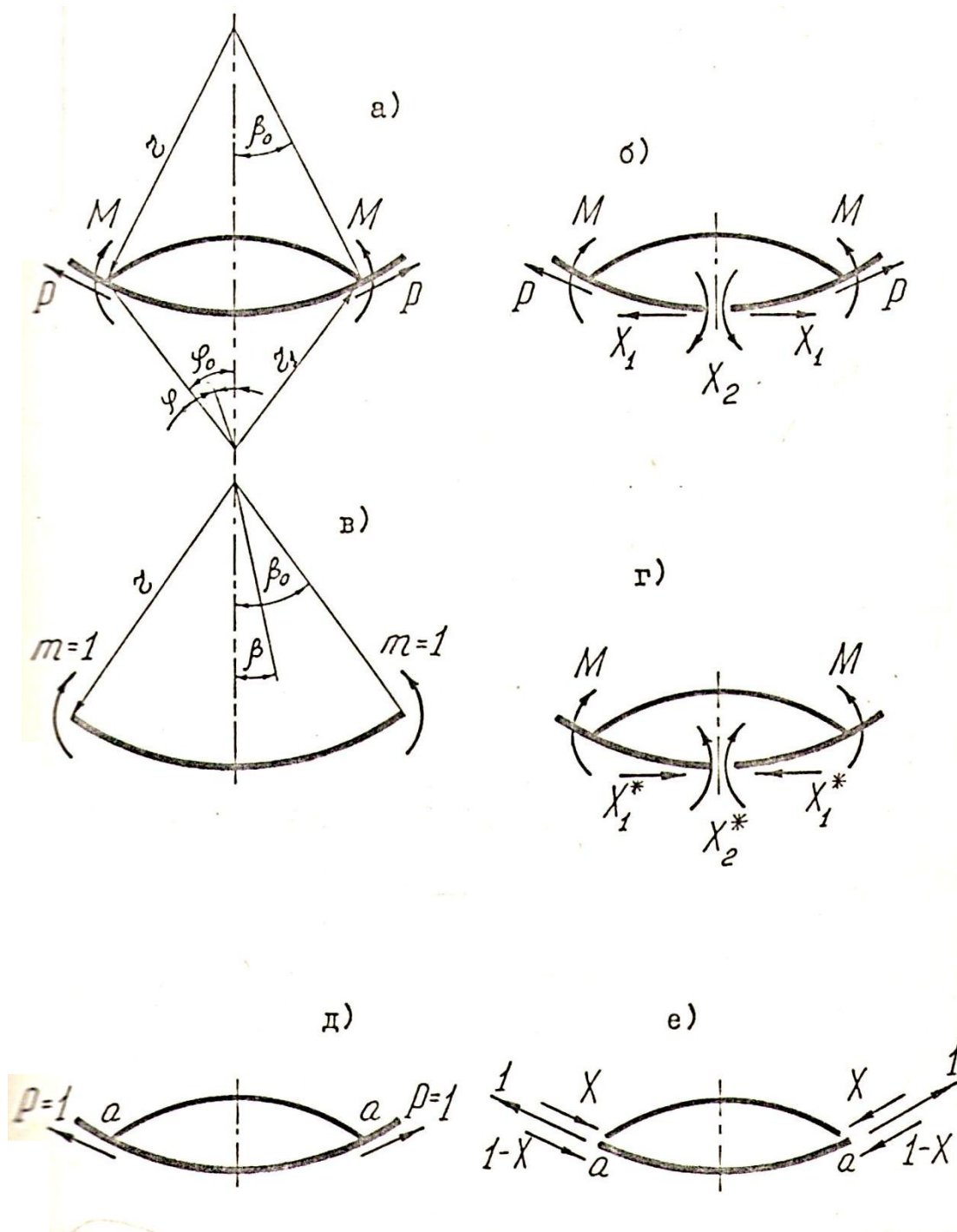
f_1 - кучайтирувчи панел ва уни ёпувчи асосий қобик қисми кўндаланг кесим юзалари йиғиндиси.

Бўйлама кесимларнинг келтирилган бикрлик параметрлари қуйидаги формулалар орқали аниқланади:

$$B_2 = E h_2; D_2 = D \left[1 + \frac{\delta_1}{\delta_2} \left(1 - \frac{S}{a_1}\right)\right] \quad (3.2)$$

Бунда $h_2 = \frac{h}{1-\mu^2} \left[1 + \frac{\delta_1}{\delta_2} \left(1 - \frac{S}{a_1}\right)\right]$ - қобикни келтирилган бўйлама қалинлиги; δ_1 ва φ_1 - ўрта сирт контурига уринма йўналган бирлик куч ва айланма йўналишда таъсир этувчи бирлик момент таъсиридан кучайтирувчи панел участкасидаги асосий қобикнинг чизикли кўчиши ва бурчакли кўчиши (бурилиш бурчаги); δ_2 ва φ_2 шундай кучлар таъсирида кучайтирилган қобикдаги (умумий берк кесим) чизикли кўчиш ва бурчакли кўчиш.

Ушбу $\delta_1, \delta_2, \varphi_1$ ва φ_2 ларни аниқлаш учун аркасимон рама ажратилади ва унинг статик ноаниклиги очилади. Аркасимон рама асосий қобик танаси ва кучайтиргич панелдан ташкил топган бўлади (2.19-расм)



2.19-расм.панеллар билан кучайтирилган цилиндирсимон қобикларни ҳисоб схемаси.

Номаълум зўриқишлар x_1 ва x_2 куч усулининг каноник тенгламаларидан аниқланади. Агар кучайтирувчи панеллар доиравий

шаклда бўлса бурчакли кўчиш φ_1 куйидаги ифодадан аниқланади (2.19в-расм).

$$\varphi_1 = \frac{2r\beta_0 \cdot 1}{D} \quad (3.3)$$

Чизикли кўчиш эса тўғри стерженлар учун Гук қонунидан келиб чиққан ҳолда куйидаги формуладан аниқланади

$$\delta_1 = \frac{2r\beta_0 \cdot 1}{(1-\mu^2)Eh} \quad (3.4)$$

Бурчакли кўчиш φ_2 Мор формуласидан аниқланади. Бунинг учун куч усулининг асосий тизимини танлаймиз (2.19 б-расм) ва $M=1$ қўйиб куч усулининг каноник тенгламаларидан нормалум зўриқиш x_1^*, x_2^* ларни аниқлаймиз (2.19 г-расм).

Айтиб ўтканимиздек φ_2 - бурчакли кўчишни Мор интегралидан аниқланади

$$\varphi_2 = \frac{2r}{D} \int_0^{\beta_0} M_m d\beta + \frac{2r_1}{D^1} \int_0^{\varphi_0} M'_m d\varphi + \frac{2r}{Eh} \int_0^{\beta_0} N_m^2 d\beta + \frac{2r_1}{Eh_1} \int_0^{\varphi_0} N'_m d\varphi \quad (3.5)$$

бунда $D^1 = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$ - кучайтирувчи панелнинг цилиндрик бикрлиги;

$M = x_2^* - x_1^* r(1 - \cos \beta)$ - асосий қобикда x_1^* ва x_2^* кучлардан ҳосил бўлган момент;

$M'_m = 1 - x_1^* - x_2^* [r(1 - \cos \beta_0) + r_1(\cos \varphi - \cos \varphi_0)]$ - шу кучлардан кучайтирувчи панелда ҳосил бўлган момент;

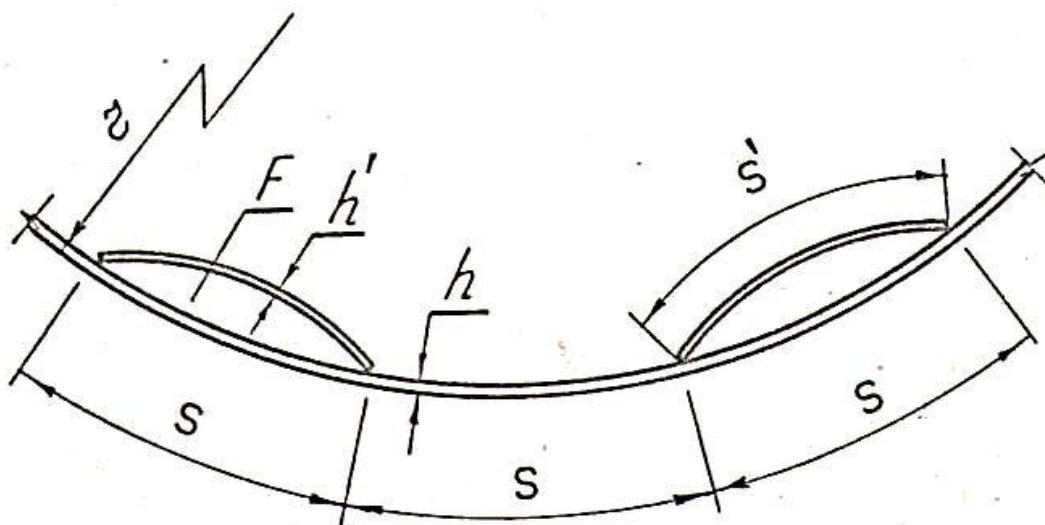
$N_m = x_1^* \cos \beta$; $N'_m = -x_1^* \cos \varphi$ - мос ҳолда асосий ва кучайтирувчи панелда x_1^* кучдан ҳосил бўлган зўриқишлар.

Бирлик кўчиш δ_2 куйидагича аниқланади (2.19 д-расм). Асосий қобикдан фикран кучайтирувчи панелни ажратиб оламиз ва унинг чеккаларига нормалум X зўриқишларни қўямиз (2.19 е-расм). а нуқтадаги кўчиш асосий қобикдан δ_a ва кучайтирувчи панелда δ'_a бўлиб, улар бир-бирига тенг ва δ_2 дан иборат.

$$\delta_a = \delta'_a = \delta_2 = \delta_1 - \delta_{1-x}$$

Чизикли кўчиш δ_1 - (2,4) формуласидан аниқланади, δ'_a ёки δ_a ва δ_{1-x} кўчишлар x ва $x-1$ кучлардан Мор, интегралидан аниқланади. δ_1, δ_a ёки δ'_a ва δ_{1-x} ифодаларини (а) га қўйиб x зўриқиш аниқлангач, чизикли кўчиш δ_2 осонгина топилади.

Асосий қобик ва кучайтирувчи панеллар орасидаги майдон
етарлича катта майдонни эгаллайди 2.20-расм



2.20-расм Асосий қобик ва кучайтирувчи панеллар орасидаги кесишиш
бирикмасы.

Шу сабабга кўра панеллар асосий қобикни буралиш бикирлигини кескин
оширади . Буралишдаги келтирилган бикирлик қуйидаги формуладан
аниқланади:

$$D_{12} = D(1 - \mu) \left(1 - \frac{s}{a_1}\right) + D_{12}^* \quad (3.6)$$

Бунда D_{12}^* -берк контурни буралишдаги a_1 узунликка келтирилган погон
бириклиги .

Бу миқдор қуйидагича аниқланади . Қиррага таъсири этувчи буровчи
момент қўйилганда

$$q_{кр} = \frac{M_{кр}}{2F},$$

нисбий буралиш бурчаги

$$\frac{d\theta}{dx} = \int \frac{q_{kp} \ddot{q}}{Gh_*} ds = \frac{M_{kp} l}{4F^2 Gh_*}$$

бунда $\ddot{q} = \frac{1}{2F}$; $l = S + S^1$ - тўлиқ кесим периметри;

$h_* = h + \frac{S^1 h^1}{a_1}$ – қобикни ўртача қилинлиги;

S^1 - кучайтирувчи панел ёйи узунлиги;

E, G - қобик материалнинг эластиклик модуллари.

Юқоридаги формуладан $M_{kp} = \frac{4F^2 Gh_*}{l} \cdot \frac{d\theta}{dx}$, аммо $M_{12} = D_{12}^* \frac{d\theta}{dx} = \frac{M_{kp}}{a_1}$

ифодадан $D_{12}^* = \frac{4F^2 Gh_*}{a_1 l}$ келибчиқади .

Бу формуладан кўриниб турибдики, умумий қобик кесим юзаси (F) эгаллаган майдон ортиши билан конструкциянинг буралиш бикрлиги кескин ортади.

3.2. Ярим моментли назария бўйича устиворликка ҳисоблаш.

Ярим моментли назария В.З.Власов томонидан ишлаб чиқилган ва қуйидаги чекланишларни қабул қилади:

1. Қобик контури кўндаланг кесимини чўзилмаслиги ҳақидаги гипотеза қуйидагича ифодаланади.

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{r} \left(\frac{\partial v}{\partial \beta} + w \right) = 0 \quad (3.7)$$

2. Қобик ўрта кесимини сиртида силжиш деформациясининг бўлмаслиги

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{r} \left(\frac{\partial u}{\partial \beta} + \frac{\partial v}{\partial \alpha} \right) = 0 \quad (3.8)$$

Умумий устиворликка ҳисоблашда С.П.Тимошенко томонидан ишлаб чиқилган энергетик усулни қўллаш мумкин. Ярим моментли назария бўйича ҳисоблашда энергияга сезиларли даражада таъсир этувчи сабаблар - қобикни доиравий йўналишда эгилиши, кўндаланг кесимни депланациясини ва буралиши ҳисобга олинади. Критик кучни (погон) аниқлашда қуйидаги ифодадан фойдаланилади.

$$\Pi = \frac{r^2}{2} \int_0^L \int_0^{2\pi} \left\{ M_2 \chi_2 + 2M_{12} \chi_{12} + N_1 \varepsilon_1 - \frac{N_1^*}{r^2} \left[\left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \alpha} \right)^2 \right] \right\} d\alpha d\beta \quad (3.9)$$

бунда ε_1 - кўндаланг кесимни депланациясидан ҳосил бўлган деформация; u, v, w - ёндош мувозанат ҳолатига утишда ҳосил бўлган бўйлама, доиравий ва радиал кўчишлар;

χ_2, χ_{12} - устиворликни йўқотишда ҳосил бўлган доиравий эгрилик ва буралма эгрилик;

M_2, M_{12} - қобикни бўйлама йўналишидаги погон эгувчи момент ва буралма момент;

$L=L/r$ - қобик узунлигини радиусига нисбатан;

α, β - бўйламасига ва айланаси бўйича нисбий (радиусга нисбатан) координаталар. Эгрилик учун ифодалар қуйидаги кўринишга эга бўлади.

$$\chi_2 = \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} - \frac{\partial v}{\partial \beta} \right) = -\frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} + w \right); \quad \chi_{12} = \frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} - \frac{\partial v}{\partial \alpha} \right) \quad (3.10)$$

булардан ташқари

$$M_2 = D_2 \chi_2; \quad M_{12} = D_{12} \chi_{12}; \quad N_1 = B_1 \varepsilon_1 \quad (3.11)$$

Ушбу ифодаларни (3.9) га қўйиб қуйидаги формулани ҳосил қиламиз.

$$\begin{aligned} & \frac{r^2}{2} \int_0^L \int_0^{2\pi} \left\{ \frac{D_2}{r^4} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} + w \right)^2 + 2 \frac{D_{12}}{r^4} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} - \frac{\partial v}{\partial \alpha} \right)^2 + \frac{B_1}{r^2} \left(\frac{\partial u}{\partial \alpha} \right)^2 - \right. \\ & \left. - \frac{N_1^*}{r^2} \left[\left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \alpha} \right)^2 \right] \right\} d\alpha d\beta = 0 \end{aligned} \quad (3.9'')$$

Агар қобик қирраларида (таянчда) эркин таянган бўлса, устиворликни йўқотиш шакли қуйидаги формула билан ифодаланади:

$$w = a \sin \lambda \alpha \cdot \cos \beta \quad (3.12)$$

$$\text{Бунда } \lambda = \frac{m\pi R}{L}; m=1,2,3,\dots, n=2,3,\dots$$

m ва n мос ҳолда қобик узунлиги бўйлаб ярим тўлқинлар ва айланасига тўлиқ тўлқинлар сонини ифодалайди.

(3.7) ва (3.8) шартларни ҳисобга олиб, берк контурли қобикда кўчишларни даврийлигини ҳисобга олсак

$$\begin{aligned} v &= - \int w d\beta = - \frac{a}{n} \sin \lambda \alpha \cdot \sin n \beta; \\ u &= - \int \frac{\partial v}{\partial \alpha} d\beta = - \frac{a}{n^2} \lambda \cos \lambda \alpha \cdot \cos n \beta; \end{aligned} \quad (3.13)$$

Кучланишлар ифодасини (3.9) қўйиб, интеграллашдан сўнг критик куч учун қуйидаги ифодага эга бўламиз.

$$N_I^* = \frac{1}{r^2} \frac{(n^2 - 1)}{(n^2 + 1)} \left(D_2 \frac{n^2}{\lambda^2} + 2D_{12} \right) + \frac{B_I \lambda^2}{n^2 (n^2 + 1)} \quad (3.14)$$

Ушбу ифодани λ^2 бўйича минимизациялаб (экстримал қийматни аниқлаш учун)

$$\lambda^2 = n^2 (n^2 - 1) \sqrt{\frac{D^2}{B, r^2}} \quad (3.15)$$

ҳосил қиламиз ва буни (3.14) га қўйиб энг кичик (минимал) критик кучни аниқлаймиз (погон):

$$N_I^* = 2 \left[\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \sqrt{\frac{D_2 B_I}{r^2}} \frac{(n^2 - 1)^2}{n^2 + 1} \cdot \frac{D_{12}}{r^2} \right] \quad (3.16)$$

Критик кучланишни аниқлаймиз:

$$\sigma_I^* = \frac{N_I^*}{n_I} \quad (3.17)$$

(3.16) ва (3.17) формуласидан кўриниб турибдики, қобикни айлана бўйича эгилишдаги ва буралишдаги бикрлиги ортиши ва радиусини камайиши натижасида критик кучланиш ортади. Бунинг учун энг кичик қиймат $n=2$ да ҳосил бўлади.

3.3. Моментли назария бўйича умумий устиворликка ҳисоблаш

Тўла моментни ҳисобга олган ҳолда умумий устиворликдаги критик кучланишни энергетик усулда аниқлаш учун қуйидаги формуладан фойдаланамиз (9,1741)

$$\begin{aligned} & \frac{r^2}{2} \int_0^L \int_0^{2\pi} \left\{ \frac{D_2}{r^4} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} + w \right)^2 + 2 \frac{D_{12}}{r^4} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} - \frac{\partial v}{\partial \alpha} \right)^2 + \frac{B_I}{r^2} \left(\frac{\partial u}{\partial \alpha} \right)^2 - \right. \\ & \left. - \frac{N_I^*}{r^2} \left[\left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \alpha} \right)^2 \right] \right\} d\alpha d\beta = 0 \end{aligned} \quad (2.18)$$

бунда ε_2 , ε_{12} - бўйлама йўналишдаги деформация ва силжиш деформацияси; N_1, N_2 - бўйлама ва кўндаланг йўналишдаги погон зўриқишлар; N_{12} - силжитувчи погон зўриқиш; M_1 , M_2 - кўндаланг ва бўйлама йўналишда погон эгувчи моментлар.

Қобикнинг устиворлигини йўқотиш формаси қуйидаги функциялар билан ифодаланади деб қабул қиламиз.

$$u = c \cos \lambda \alpha \cdot \cos n \beta;$$

$$v = b \sin \lambda \alpha \cdot \sin n \beta; \quad (3.19)$$

$$w = a \sin \lambda \alpha \cdot \cos n \beta$$

Деформация ва эгриликлар учун қуйидагиларни ҳосил қиламиз.

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_1 &= \frac{\partial u}{r \partial \alpha} = -\frac{\lambda}{r} c \cdot \sin \lambda \alpha \cos n \beta ; \\
 \varepsilon_2 &= \frac{\partial u}{r \partial \beta} + w = \frac{a+b}{r} \cdot \sin \lambda \alpha \cos n \beta ; \\
 \varepsilon_{12} &= \frac{\partial u}{r \partial \beta} + \frac{\partial u}{r \partial \alpha} = \frac{b\lambda - cn}{r} \cos \lambda \alpha \cdot \sin n \beta ; \\
 \chi_1 &= -\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \alpha^2} = \frac{a\lambda^2}{r^2} \sin \lambda \alpha \cos n \beta ; \\
 \chi_2 &= -\frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \beta^2} - \frac{\partial v}{\partial \beta} \right) = \frac{an^2 + bn}{r^2} \sin \lambda \alpha \cos n \beta ; \\
 \chi_{12} &= -\frac{1}{r^2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} - \frac{\partial v}{\partial \beta} \right) = \frac{\lambda(an + b)}{r^2} \cos \lambda \alpha \sin n \beta .
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

Бўйлама погон зўриқишлар ва моментлар

$$\begin{aligned}
 N_1 &= B_1 (\varepsilon_1 + \mu_2' \varepsilon_2); & M_1 &= D_1 (\chi_1 + \mu_2'' \chi_2); \\
 N_2 &= B_2 (\varepsilon_2 + \mu_1' \varepsilon_1); & M_2 &= D_2 (\chi_2 + \mu_1'' \chi_1); \\
 N_{12} &= Eh^* \varepsilon_{12}; & M_{12} &= (1 - \mu) D_{12} \chi_{12}.
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

бунда келтирилган Пуассон коэффицентлари

$$\mu_1' = \mu \frac{h}{h_2}; \quad \mu_2' = \mu \frac{h}{h_1}; \quad \mu_1'' = \mu \frac{D}{D_2}; \quad \mu_2'' = \mu \frac{D}{D_1}$$

(3.20), (3.21) ифодаларни (3.18) га қўйиб энергия учун қуйидаги алгебраик ифода ҳосил қиламиз:

$$\Pi = \Pi(a, b, c)$$

бунинг учун ҳар бир параметрга экстремумқийматини ёзсак ифодалар ҳосил бўлади.

$$\frac{\partial \Pi}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial b} = 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial c} = 0 \quad (3.22)$$

ифодалар ҳосил бўлади.

Алгебраик тенгламалардан детерминант тузиб унинг аниқловчисининин олга тенглаймиз ва N_1^* критик зўриқишни аниқлаш учун ифода ҳосил қиламиз. N_1^* нинг энг кичик қийматини аниқлаш учун (3.1), (3.2), (3.6) формулалардаги бикрликларни қўйиб уни m ва бўйича минимизациялаймиз. Критик куч қиймати (3.17) формуладан аниқланади.

3.4. Панеллар билан қучайтирилган қобикни номарказий сиқилиш бўйича умумий устиворликка ҳисоблашнинг амалий усули

Номарказий сиқилишда устиворликни йўқотиш эгувчи момент ва сиқувчи куч йигиндисидан ҳосил бўлган зонада содир бўлади. Критик юкнинг қиймати диаметрни қарама-қарши нуқталарида эгилишдан ҳосил бўлган кучланишга боғлиқ бўлади.

Критик кучланиш ва критик погон зўриқиш қуйидаги қонуният билан ўзгариш текшируви ўтказамиз

$$\sigma_1^* = \sigma_0^* + \sigma_2^* \cos \beta$$

$$N_1^* = N_0^* \left(1 + \frac{2e}{r} \cos \beta \right) \quad (3.23)$$

Бунда

$$\sigma_0^* = \frac{P^*}{2\pi r h_1}; \quad \sigma_e^* = \frac{P^* e}{\pi r^2 h_1}; \quad N_0^* = \frac{P^*}{2\pi r}$$

σ_1^* - эгувчи ва сиқувчи зўриқишларни биргаликдаги таъсиридан ҳосил бўлган критик кучланиш;

N_0^* кучлардан ҳосил бўлган зўриқиш;

P^*, e - куч ва уни қуйилиш эксцентриситети.

Конструкция учун энергия функцияси

$$\Pi = \frac{r^2}{2} \int_0^L \int_0^{2\pi} \left\{ M_1 \chi_1 + M_2 \chi_2 + 2M_{12} \chi_{12} + N_1 \varepsilon_1 + N_2 \varepsilon_2 + N_{12} \varepsilon_{12} - \right. \\ \left. - \frac{N_1^*}{r^2} \left[\left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \beta} \right)^2 \right] \right\} d\alpha d\beta \quad (3.24)$$

Устиворликни йўқотиш функциялари

$$u = \cos \lambda \alpha \sum_{n=2, t=1}^{\infty} c_t e^{-k\beta} \cos n\beta; \quad (3.25)$$

$$v = \sin \lambda \alpha \sum_{n=2, t=1}^{\infty} b_t e^{-k\beta} \sin n\beta;$$

$$w = \sin \lambda \alpha \sum_{n=2, t=1}^{\infty} a_t e^{-k\beta} \cos n\beta;$$

Бунда a_t, b_t, c_t - деформацияланиш тўлқинлари амплитудалари; k - ҳар хил қиймат олувчи (вариацияланувчи) параметр.

Амалий ҳисоблаш учун ҳосил бўлган дастлабки учта хадни қолдирсак, куйидаги ифодаларни ҳосил қиламиз.

$$\varepsilon_1 = \frac{\lambda}{r} \sin \lambda \alpha \cdot e^{-k\beta} (c_1 \cos n_1 \beta + c_2 \cos n_2 \beta + c_3 \cos n_3 \beta);$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{r} \sin \lambda \alpha \cdot e^{-k\beta} [b_1 (n_1 \cos n_1 \beta + k \sin n_1 \beta + c_3 \cos n_3 \beta) + b_2 (n_2 \cos n_2 \beta + k \sin n_2 \beta) + a_2 \cos n_2 \beta + b_3 (n_3 \cos n_3 \beta + k \sin n_3 \beta) + a_3 \cos n_3 \beta];$$

$$\varepsilon_{12} = \frac{1}{2} \cos \lambda \alpha \cdot e^{-k\beta} [b_1 \cdot \lambda \cdot \sin n_1 \beta - c_1 (k \cdot \cos n_1 \beta + n_1 \sin n_1 \beta) + b_2 \cdot \lambda \cdot \sin n_2 \beta - c_2 (k \cdot \cos n_2 \beta + n_2 \sin n_2 \beta) + b_3 \cdot \lambda \cdot \sin n_3 \beta - c_3 (k \cdot \cos n_3 \beta + n_3 \sin n_3 \beta)];$$

$$\chi_1 = \frac{\lambda^2}{r^2} \sin \lambda \alpha \cdot e^{-k\beta} (a_1 \cos n_1 \beta + a_2 \cos n_2 \beta + a_3 \cos n_3 \beta);$$

$$\chi_2 = \frac{1}{r^2} \sin \lambda \alpha \cdot e^{-k\beta} \{ (a_1 [\cos n_1 \beta (n_1^2 - k^2) - 2kn_1 \sin n_1 \beta] + b_1 (n_1 \cos n_1 \beta - k$$

$$\sin n_1 \beta + a_2 [\cos n_2 \beta (n_2^2 - k^2) - 2kn_2 \sin n_2 \beta] + b_2 (n_2 \cos n_2 \beta - k \sin$$

$$n_2 \beta) + a_3 [\cos n_3 \beta (n_3^2 - k^2) - 2kn_3 \sin n_3 \beta] + b_3 (n_3 \cos n_3 \beta + k \sin n_2 \beta) \};$$

$$\chi_{12} = \frac{\lambda^2}{r^2} \cos \lambda \alpha \cdot e^{-k\beta} [a_1 (k \cos n_1 \beta + n_1 \sin n_1 \beta) + b_1 \sin n_1 \beta + a_2 (k$$

$$\cos n_2 \beta + n_2 \sin n_2 \beta) + b_2 \sin n_2 \beta + a_3 (k \cos n_3 \beta + n_3 \sin n_3 \beta) + b_3 \sin n_3 \beta];$$

$$\left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \right)^2 = \lambda^2 \cos^2 \lambda \alpha \cdot e^{-2k\beta} (a_1^2 \cos^2 n_1 \beta + a_2^2 \cos^2 n_2 \beta + a_3^2 \cos^2 n_3 \beta + 2a_1 a_2$$

$$\cos n_1 \beta \cdot \cos n_2 \beta + 2a_1 a_3 \cos n_1 \beta \cdot \cos n_3 \beta + 2a_2 a_3 \cos n_2 \beta \cdot \cos n_3 \beta);$$

$$\left(\frac{\partial v}{\partial \alpha} \right)^2 = \lambda^2 \sin^2 \lambda \alpha \cdot e^{-2k\beta} (b_1^2 \sin^2 n_1 \beta + b_2^2 \sin^2 n_2 \beta + b_3^2 \sin^2 n_3 \beta + 2b_1 b_2 \sin$$

$$n_1 \beta \cdot \sin n_3 \beta + 2b_1 b_3 \sin n_1 \beta \cdot \sin n_3 \beta + 2b_2 b_3 \sin n_2 \beta \cdot \sin n_3 \beta);$$

(3.21) ва (3.26) ни (3.24), қўйиб, интеграллашдан сўнг энергия учун

$$\Pi = \Pi(a_t, b_t, c_t) \quad (t=1, 2, 3)$$

кўринишдаги ифода ҳосил қиламиз. Экстримуланг шартидан

$$\frac{\partial \Pi}{\partial a_t} = 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial b_t} = 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial c_t} = 0;$$

(3.27)

a_t, b_t, c_t - ларга нисбатан алгебраик тенгламалар системаси ҳосил бўлади.

Ушбу тенгламалар коэффициентларидан детерминант тузамиз ва уни нолга тенглаймиз.

$$De_i = |Di_j| = 0; \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, 9 \quad (3.28)$$

Бу ифода N_0^* - погон критик юкни аниқлаш учун чизиклимас функция бўлиб тўлкинлар (m ва n) ҳосил бўлишга боғлиқ бўлади. Критик кучни $-N_0^*$ аниқлаш учун ЭХМдан фойдаланиш мумкин. Изланиш натижасида n ва m ларни минимал сонига тенг келган N_0^* аниқланади ва критик кучланиш қуйидаги формула билан ифодаланади:

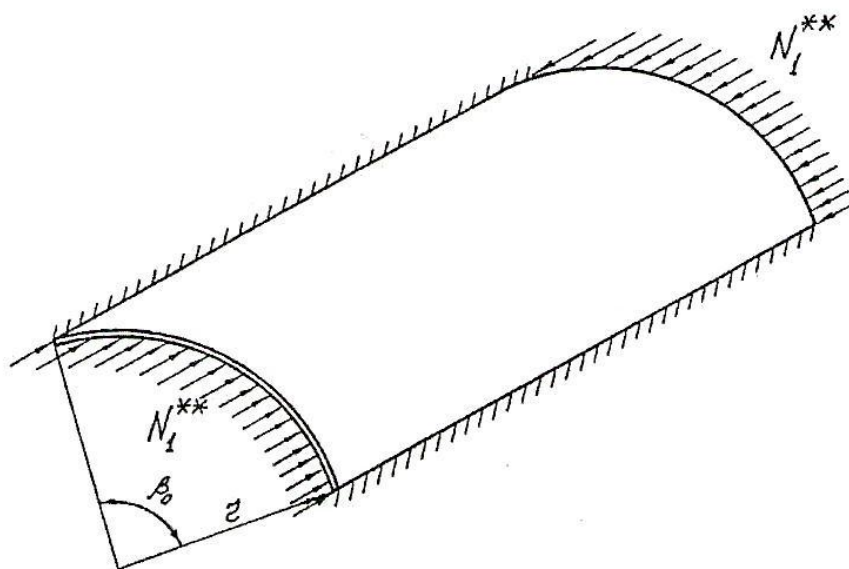
$$\sigma_1^* = \frac{N_0^*}{h_1} \left(1 + \frac{2e}{r} \cos \beta \right) \quad (3.29)$$

Ушбу формула қирраларида эркин таянган (шарнирли таянч) қобик конструкциялар учун ўринли бўлади.

3.5 Бўйлама қирраларидан бикр маҳкамланган цилиндрсимон панелни устиворлиги

Бўйлама қирралари (узунасига) бўйлаб бикр маҳкамланган чеккаларидан эса шарнирли маҳкамланган цилиндрсимон панелни устиворлигини кўриб чиқамиз. Бундай панеллар буралма деформацияга яхши қаршилиқ кўрсатиши билан характерланади.

Бўйлама йўналишда сиқувчи погон куч таъсир этаётган бўлса, потенциал энергияни вариацион кўринишда ёзилиши қуйидагича бўлади (2-21-расм).



2.21-расм Четки қирралари қистириб маҳкамланган цилиндрсимон қобик

$$\Pi = \frac{r^2}{2} \int_0^L \int_0^{2\pi} \left\{ M_1 \chi_1 + M_2 \chi_2 + 2M_{12} \chi_{12} + N_1 \varepsilon_1 + N_2 \varepsilon_2 + N_{12} \varepsilon_{12} - \frac{N_1^{**}}{r^2} \left[\left(\frac{\partial w}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \alpha} \right)^2 \right] \right\} d\alpha d\beta \quad (3.30)$$

Устиворликни йўқотиш қуйидаги функциялар билан ифодаланади

$$\begin{aligned} u &= a_1 \cos \lambda \alpha (1 - \cos 2n_* \beta); \\ v &= a_2 \sin \lambda \alpha \cdot \sin n_* \beta; \\ w &= a_3 \sin \lambda \alpha \cdot \sin 2n_* \beta \end{aligned} \quad (3.31)$$

Бундай функциялар чегаравий шартларни қаноатлантиради,

$$\lambda = \frac{m\pi r}{L}; \quad n_* = \frac{n\pi}{\beta_0}$$

a_1, a_2, a_3 - аниқланувчи параметрлар.

Асосий геометрик боғланишлардан фойдаланиб, (3.31) га асосан деформация ва эгриликлар учун қуйидаги ифодаларга эга бўламиз.

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= -a_1 \frac{\lambda}{r} \sin \lambda \alpha (1 - \cos 2n_* \beta); \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{r} \sin \lambda \alpha (2n_* a_2 \cos 2n_* \beta + a_3 \sin 2n_* \beta); \\ \varepsilon_{12} &= \frac{1}{r} \cos \lambda \alpha \cdot \sin 2n_* \beta (a_1 2n_* a_2 \lambda); \\ \chi_1 &= \frac{\lambda^2}{r^2} a_3 \sin \lambda \alpha \cdot \sin 2n_* \beta; \\ \chi_2 &= \frac{2n_*}{r_2} \sin \lambda \alpha \cdot \sin 2n_* \beta (a_2 - a_3 n_*); \\ \chi_{12} &= \frac{\lambda}{r^2} \cos \lambda \alpha \cdot \sin 2n_* \beta (a_2 - a_3 n_*) \end{aligned} \quad (3.32)$$

Ушбу ифодаларни (3.30)га қўйиб (3.21) ва (3.32) фойдаланиб, интеграллашни амалга оширсак, қуйидаги алгебраик тенгламаларни ҳосил қиламиз.

$$\Pi = \Pi(a_1, a_2, a_3)$$

Ҳар бир параметр учун экстремум шартини ёзамиз

$$\frac{\partial \Pi}{\partial a_1} = 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial a_2} = 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial a_3} = 0 \quad (3.33)$$

Ҳосил бўлган алгебраик тенгламалар тизими a_1, a_2, a_3 ларга нисбатан чиқиқли бўлади. Тенглама коэффициентларидан детерминант тузиб уни нолга тенглаймиз, натижада N_1^{**} - критик куч (погон) учун ифода ҳосил бўлади. m ва n тўлқинлар сони билан N_1^{**} га минимал қиймат ЭХМда аниқлаш амалга оширилади. Критик кучланиш қуйидаги формуладан аниқланади:

$$\sigma_1^{**} = \frac{N_1^{**}}{h} \quad (3.34)$$

3.6 Кучайтирилган қобикларнинг юк кўтариш қобияти

Конструкциянинг юк кўтариш қобияти деб, таъсир этувчи юклар остида у бузилиш ҳолатига ёки тўлиқ яроқсиз ҳолда келиши тушунилади. Цилиндрик панеллар билан кучайтирилган қобикнинг номарказий сиқувчи кучлар таъсирида қуйидаги ҳолатларда юк кўтариш қобиятини йўқотиши мумкин:

- кучайтирувчи панеллар ва қобик билан биргаликда устиворликни йўқотиши;
- асосий қобикни кучайтирувчи панелларнинг маҳаллий устиворлигини йўқотиши.

Бу ерда маҳаллий устиворликни йўқотишда кучайтирувчи панелларда эҳтимоли бор бошланғич нуқсонлар таъсир этиши мумкин, аммо уларни таъсири кучайтирилмаган қобикларга нисбатан кам бўлади.

Марказий сиқилишда юк кўтариш қобияти

Қобикни умумий устиворлигини йўқотишдаги критик кучланиш (3.17) формуладан аниқланади. Қобикдаги бошланғич нуқсонлар таъсири k_0 коэффициент киритиш билан ҳисобга олинади [19].

$$k_0 = 0,1 + 0,9e^{-0,7\sqrt{rh/h_1^2}}$$

Демак,

$$\sigma_{1,0}^* = \sigma_{1,0}^* \cdot k_0 \quad (3.35)$$

бунда σ_1^* нуқсонсиз қобикдаги критик кучланиш, (2.17) формуладан аниқланади.

Агар критик кучланиш пропорционаллик чегарасидан ўтса, материални эластик-пластик ишлашини ҳисобга олиш керак, яъни

$$\sigma_{пл} = \sigma_b \frac{1 + \mu}{1 + \mu + \mu^2} \quad (3.36)$$

σ_b - материални мустаҳкамлик чегараси.

Кучайтирилган қобик умумий устиворлигини йўқотса унинг юк кўтариш қобилияти тўлиқ сарфланган бўлади, яъни конструкцияни бузилишига сабаб бўлади. Шунинг учун критик кучланиш $\sigma_{1,0}^*$ ёки $\sigma_{пл}^*$ қобикнинг юк кўтариш қобилитини баҳолайди.

Кучайтирилган қобикларнинг бузилиши кучайтирувчи панеллар устиворлигини йўқотганда ҳам содир бўлиши мумкин. Қурилиш меъёрларига асосан кучайтирувчи панелдаги критик кучланиш [18]

$$\frac{b^2}{r_1 h^1} > 20$$

Муносабатда (бунда b - панел эни; r_1 , h^1 - панел радиуси ва қалинлиги) қуйидаги формуладан текширилади

$$\sigma_2^* = c E \frac{h^1}{r_1} \quad (3.37)$$

бунда c - қобикдаги нуқсонларни ҳисобга олувчи коэффицент [18]

Тўлиқ қобикнинг юккўтариш қобилияти қуйидаги формулалардан аниқланади:

$$p = k_1 \sigma_2^* (F_1 + 2c_1 h); \quad (3.38)$$

ёки

$$p = k_1 \sigma_1^* (F_1 + 2c_1 h); \quad (3.39)$$

$$c_1 = \frac{S}{2} \sqrt{\frac{\sigma_1^{**}}{\sigma_1^*}} \quad (3.40)$$

бунда $k_1 F_1$ - панеллар сони ва улардан ҳар бирининг кесим юзаси

σ_1^{**} - асосий қобикдаги критик кучланиш бўлиб, (3,34) формуладан аниқланади; σ_1^* - (3.35), (3.36), (3.37) формулалардан аниқланган энг кичик критик кучланиш.

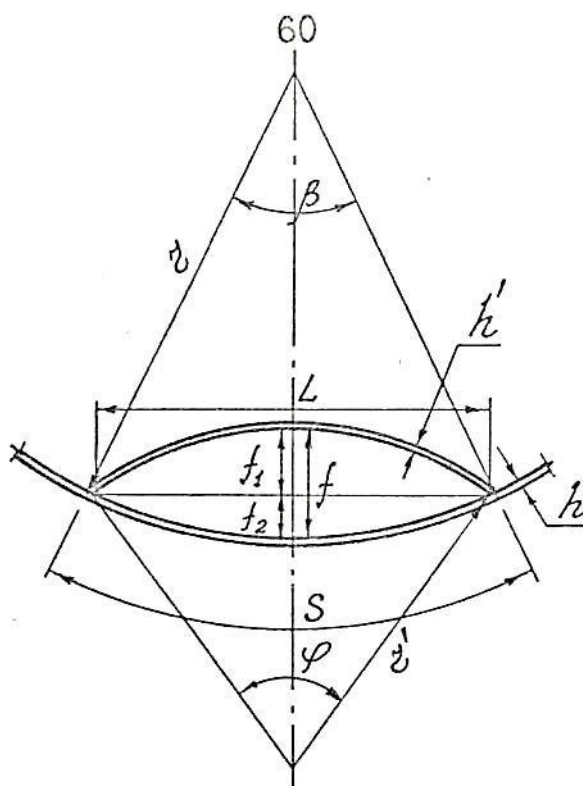
3.7 Бўйламасига цилиндрик панеллар билан кучайтирилган цилиндрсимон минора конструкцияларни ҳисоблаш услуби

Цилиндрсимон қобиклар ҳаракатдаги меъёрларга асосан [18] биринчи чекли ҳолат бўйича, айрим ҳолларда биринчи ва иккинчи чекли ҳолат бўйича ҳисобланади.

Биринчи чекли ҳолат бўйича ҳисоблашда материални эластик қаршилик кўрсатиши чегарасида мустаҳкамликка ва устиворликка текширилади.

Минора конструкцияларнинг кўндаланг кесимини компановкалашда қуйидаги кетма - кетликка риоя қилинади:

01. Асосий қобикнинг диаметри $d=2500+7000$ мм оралиғида белгиланади. Бунда мустаҳкамликни таъминланишдан ташқари миноранинг функционал вазифаси, уни транспортлаш масаласи ҳам ўз ечимини топиш керак. Қобик қалинлиги h ва кучайтирувчи панел қалинлиги $h_1 = (0,5+1)h$, ёй бўйлаб узунлиги $S=(40-50)h$ ва кўтарилиш баландлиги $f=(10-12)$ белгиланади (2.22-расм).



2.22-расм Цилиндрсимон қобикни кучайтирилган панел тугуни

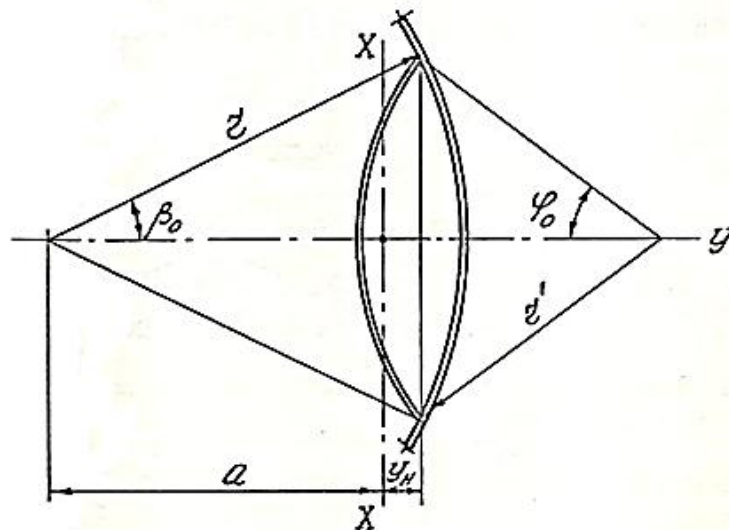
Кучайтирувчи панеллар сони асосий қобик диаметрига боғлиқ ҳолда $\pi d/2S$ донга бўлади. Ҳисоблашларни бажариш учун конструкциянинг қуйидаги геометрик характеристикалари аниқланади.

$$\beta = S/r \text{ (град)}; \quad L = 2(r-h) \sin \frac{\beta}{2};$$

$$f_2 = (r-h) \left(1 - \cos \frac{\beta}{2}\right); \quad f_1 = f - f_2;$$

$$r' - h' = (L^2 + 4f_1^2) / 8f_1; \quad \varphi = 2 \arcsin \frac{L}{2(r' - h')} \text{ (град)}$$

Минора оғирлик марказига нисбатан кучайтирувчи панелнинг геометрик характеристика ва оғирлик марказининг ҳолати аниқланади (2.23-расм)



2.23-расм Цилиндрсимон қобикни кучайтирилган панел тугуни

$$Y_n = \frac{2r' - h'}{2} \left(\frac{\sin \varphi_0}{\varphi_0} - \cos \varphi_0 \right) + \frac{h' \cos \varphi_0}{2};$$

$$a = (r-h) \cos \beta_0 - Y_n;$$

$$I_x = \frac{h' (2r' - h')^3}{2} \left(\psi - \frac{4 \sin^2 \varphi_0}{\varphi_0} \right);$$

$$I_y = \frac{h' (2r' - h')^3}{16} \cdot \alpha;$$

$$\alpha = 2\varphi_0 - \sin 2\varphi_0; \quad \psi = 2\varphi_0 + \sin 2\varphi_0$$

Ушбу параметрлар аниқлангач, бутун кесим учун кесим юза инерция моменти ва қаршилиқ моменти аниқланади.

2. Минора конструкциясига таъсир этувчи юклар аниқланади: хусусий оғирлиқ ва технологик жиҳозлар оғирлигидан ҳосил бўлган статик юклар; шамол таъсиридан ҳосил бўлган юклар; лозим деб топилса зилзилага ҳам ҳисобланади. Ҳисобий зўриқишлар ҳаракатдаги меъёрларга асосланиб аниқланади [18, 19].

3. Минора констуркциясининг мустаҳкамлиги қуйидаги формуладан аниқланади [23]

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M}{W} \leq mR$$

бунда R- материалнинг ҳисобий қаршилиги;
m-иш шароити коэффиценти (минора конструкциялари учун m=0,9);
M,N- минорага таъсир этувчи ҳисобий зўриқишлар.

4. Цилиндрик панеллар билан кучайтирилган минора конструкцияни устиворликка текшириш қуйидаги кетма-кетлик билан амалга оширилади:

- (3.1), (3.2), (3.6) формулалар билан аниқланган бикрлик параметрлари ҳисобланади;
- (3.29) формуладан нормарказий сиқилишдаги критик кучланиш аниқланади ва таъсир этган кучланишлар билан солиштирилади;
- (3.34) формуладан σ_1^{**} критик кучланиш аниқланади ва панел коэффиценти аниқланади.

$$Kn = \sigma_1^{**} / \sigma_1^b$$

бунда σ_1^b - классик назария билан аниқланган идеал қобик учун критик кучланиш [5, 8, 9];

$$\sigma_1^b = 0,605 E \frac{h}{r}$$

- бикр маҳкамланган панелдаги критик кучланиш носозликларни ҳисобга олган ҳолда ҳисобланади.

$$\sigma_1 = k_n c E \frac{h}{r} \geq mR$$

бунда c - бошланғич носозликларни ҳисобга олувчи коэффиценти [18].

5Агар қабул қилинган кесим мустаҳкамлик ва устиворлик шартларини қаноатлантирмаса, ўлчамлар мувофиқлантирилади ва ҳисоблаш тўлиқ қайтарилади.

6Миноранинг кесим ўлчамлари қабул қилинган, унинг юк кўтариш қобилияти қуйидаги формуладан текширилади:

$$(3.41) \quad M_{max} = \sum_i^n \sigma_{io} f_{io} y_{io} + \sum_i^n \sigma_i f_i y_i$$

бунда σ_{io} - қобикни юк кўтара оладиган i - чи участкасидаги кучланиш;
 f_{io} - устиворлигини йўқотмаган i -чи участка кесим юзаси;
 y_{io} - i -чи участка оғирлик марказидан қобикни оғирлик марказигача бўлган масофа;
 σ_i, f_i, y_i - юқорида баён этилганларнинг айнан ўзи, фақат кучайтирувчи панел учун.

Ҳисоблаш учун мисол

1. Марказий сиқилишга ишловчи қобикни устиворликка ва юк кўтариш қобилиятига ҳисоблаш

Узунлиги (баландлиги) - H , радиуси- r , қалинлиги- h , марказий бурчаги $2\beta_0$ бўлган цилиндрсимон қобик, радиуси- r_1 , қалинлиги- h' ва марказий бурчаги $2\varphi_0$ бўлган иккита панел билан кучайтирилган (21-расм). Ўлчамлари 3.1 - жадвалда кўрсатилган уч хилдаги қобик учун ҳисоблаш бажарамиз. Барча мисоллар учун конструкция materiali ВСтЗпс5 қабул қиламиз.

3.1 - жадвал

Қобик №	град		см ²	Мм						
	2β0	2φ0	F	r	r ₁	h	h'	s	S'	H
1	65	79	137,75	1400	334	5,5	5,5	420	454	2960
2	65	79	76,49	1120	269	3,8	3,8	340	367	2360
3	67	82	44,8	840	200	2,9	2,9	260	382	1760

(3.1), (3.2), (3.6) формулалар ёрдамида конструкцияни бикрлик параметрларини аниқлаб 3.2- жадвалга киритамиз.

Асосий қобик танаси бикр туташма ҳосил қилган цилиндрсимон панеллар билан кучайтирилган панелдаги критик кучланиш қиймати (3.34) формула ёрдамида аниқланади. Бунда критик кучланиш σ_{1**} нинг минимал қийматини аниқлаш учун m ва n тўлқинлар сони бериб ҳисоблаш амалга оширилади.

Панел коэффициент $K = \sigma_1^{**} / \sigma_1^B$ аниқланса, бикр маҳкамланган панелга нисбатан бикр контурли цилиндрсимон қобикнинг қанча фарқ билан устиворлиги келиб чиқади.

3.2-жадвал

Қобиклар	Келтирилган биқирлик кўрсатқикчлари						Буралишшлига биқрлик
	Кўндаланг кесим			Бўйлама кесим			
	h ₁	B ₁	D ₁	h ₂	B ₂	D ₂	D ₁₂
	см	кн	кнсм ²	см	кн	кнсм ²	кнсм ²
1	0,87	18300	130000	0,553	11600	357	226000
2	0,6	12600	56000	0,382	8020	118	102000
3	0,46	9670	27000	0,291	6120	52	49700

Панелдаги критик кучланиш бошланғич нуқсонларни ҳисобга олган ҳолда қуйидаги формула орқали ҳисобланади [18] (K_n коэффициент киритилди).

$$\sigma_l = K_n C E h / r$$

Ҳисоблаш натижаси 3.3 – жадвалга киритилди.

3.3-жадвал

қобик	K_n	n	M	c	σ_1 , МПа
1	1,2916	1	20	0,19	181
2	1,2209	1	21	0,17	139
3	1,2378	1	21	0,16	143

Умумий устиворликни йўқотишдаги критик кучланиш тўла моментли назария бўйича (3.17) формула орқали ҳисобланди. N_1^* - критик погон зўриқишнинг минимал қиймати тўлқинланар t , p сонини ўзгартириш билан аниқлаб олинади. Қобик сиртидаги бошланғич нуқсонлар (3.35) формуладан ҳисобланади. (3.36) формуладан аниқланган критик кучланиш барча ўлчамдаги қобиклар пропорционаллик анча юқори кўрсаткич берди. Кучайтирилган қобиклар учун (3.17) формула ёрдамида ярим моментли назария бўйича бошланғич нуқсонларни ҳисобга олган ҳолда умумий устиворликни йўқотишдаги критик кучланиш ҳисобланади.

Ҳисоблаш натижаси 3.4 - жадвалда кўрсатилган. Жадвалга киритилган натижаларга (3.37) формуладан фойдаланиб силлик панеллардаги жисмоний нуқсонларни ҳисобга олган ҳолда ҳисоблаш ҳам киритилди.

3.4 - жадвал

Қобиклар	Умумий устиворликни йўқотишдаги критик кучланиш						Кучайтирувчи Панеллардаги Критик кучланиш σ_2^*
	Моментли Назария σ_1^*	Тулқинларнинг Ҳосил бўлиш кўрсаткичлари		Ярим моментл назария σ_1^*	Тулқинларнинг Ҳосил бўлиш кўрсаткичлари		
	МПа	m	n	МПа	m	n	
1	371	1	3	396	-	2	344
2	370	1	3	376	-	2	330
3	372	1	3	406	-	2	333

Кучайтирилган қобикларнинг юк кўтариш қобияти (3.39) формуладан ҳисобланади Бунинг учун (3.38) ёрдамида 2с1 узунлик ҳисобланади. Ҳисоблаш натижалари 3.5 -жадвалга киритилган.

3.5- жадвал

Қобиклар	2 с ₁ участка узунлиги	Қобикни юк кўтарувчанлик қобияти, Р
№	см	кН
1	26,1	3210
2	19,5	1660
3	14,5	970

2. Кучайтирилган қобикларни номарказий сиқилишдаги устиворликка ва юк кўтаришга ҳисоблаш

Ҳисоблашни бажариш учун қуйидаги ўлчамларга эга бўлган берк контурли цилиндрсимон қобикни кўриб чиқамиз: қобик узунлиги-Н-3600мм радиуси- r- 1400 мм, девор қалинлиги h=7.6 мм, ички томондан 12 та доиравий панел билан кучайтирилган, панел радиус $r_1=320$ мм, қалинлиги $h_1=5.8$ мм, марказий бурчак $2\varphi_0=83^\circ$. Асосий қобикнинг икки панел орасидаги ёй узунлиги $S=416$ мм, кучайтирувчи панели ёй узунлиги $S'=464$ мм конструкция 09г2с навлик пўлат.

(3.1), (3.2) ва (3.6) формулалардан конструкцияни келтирилган бикрликлари ҳисобланади:

- қобик кўндаланг кесим учун- $h_1=1.07$ см, $B_1=22560$ кН, $B=163000$ кН см²;
- бўйлама кесимлар учун - $h_2=0.762$ мм; $B_2=16000$ кН; $D_2=890$ кН см²;
- буралишдаги бикрлик - $D_m=289600$ кН см².

Асосий қобикдаги панел учун устиворликни йўқотишдаги критик кучланиш (3.34) формуладан аниқланади. Идеал қобик учун критик сучланиш σ_1^{**} қиймати тўлқинлар ҳосил сонига қараб аниқланади. $n=1$ ва $m=21$, сўнгра коэффициент $K_n=1.4419$ ва бошланғич нуқсонлар коэффициенти $C=0,186$ орқали критик кучланиш $\sigma_1=306$ МПа аниқланди.

Кучайтирувчи панелларнинг устиворлигини йўқотишдаги кучланиш $\sigma_1^*=349$ МПа (3.37) формуладан аниқланади, (3.29) формуладан эса, бошланғич нуқсонларни ҳисобга олган ҳолда умумий устиворликдаги критик кучланиш аниқланади.

Критик погон зўриқиш $N_0^*=37980$ Н/см қиймати $m=1$ ва $n=4$ қийматида қайд этилади, шунда $k=1$; $\sigma_1^*=433$ МПа бўлади.

(3.38) формуладан $2c_1=33,7$ см, (3.41) формуладан юк кўтаришқобилияти учун $M_{max}=21427$ кН/м аниқланди.

Хулосалар

Очиқ цилиндрсимон панеллар ва берк контурли цилиндрсимон қобик (минора секцияси) бўйламасига цилиндрик панеллар билан кучайтилган ҳолда устиворликка ва юк кўтариш қобилиятига текширилиб қуйидаги хулосаларни баён қилиш мумкин.

1. Силлиқ сиртли очиқ ҳолдаги цилиндрсимон қобиклар ўзига ўхшаш цилиндрик панеллар билан кучайтирилса . Устиворлик ва юк кўтариш қобилияти кескин ошади ҳамда материални тежаш имконини яратади. Номарказий сиқилишга синалган намуналарда устиворликни йўқотиш ҳисобий қаршилиқдан юқори кучланишлар содир бўлди , юк кўтариш қобилитини йўқотиш эса материални оқувчанлик чегарасигача етиб боради .
2. Синашдан маълум бўлишича , асосий қобик устиворлигини йўқотиши конструкцияни бузилишига олиб келмайди , бузулиш фақат кучайтирувчи панеллар ҳам устиворликни йўқотганидан сўнг содир бўлади , яъни силлиқ – кучайтирилмаган қобикларга ўхшаб бир онда бузулиш содир бўлмайди .
3. Қобикдаги бошланғич нуқсонлар (эзилишлар) уйдим – чуқурлар қобик қалинлигидан 1,5 – 2,5 марта катта , пайвандлаш натижасида ҳосил бўлган қолдиқ кучланишлар шундай турдаги конструкцияларга кам таъсир этади ва критик кучланишга кўрсатмайди .
4. Синаш тажрибалари натижалари ва назарий ҳисоблаш орасидаги фарқ катта эмас ва марказий ҳамда номарказий сиқилишдан қониқарли яқинлашиш кузатилган.

Фойдаланилган ва ўрганилган адабиётлар рўйхати

1. Каримов И.А. Ўзбекистоннинг ўз истиклол ва тараққиёт йўли. Т., «Ўзбекистон», 1992.
2. Каримов И.А. Бунёдкорлик йўлидан. т.4. Т., «Ўзбекистон», 1996.
3. Қ.Сайдуллаев , К.Шукурова Металл конструкциялари. Тошкент-2010
4. Лессиг Е.Н, Лилеев А.Ф, Соколов А.Г. Листовые металлические конструкции. 1970.
5. Алфутов Н.А. Основы расчета на устойчивость упругих систем. Библиотека расчетчика 1978
6. Беленя Е.И. и др. Металлические конструкции . Общий курс. 1985
7. Беленя Е.И. и др. Металлические конструкции . Общий курс. 1985
Специальный курс 1982
8. Биргер И.А. Круглые пластинки и оболочки вращения. 1961
9. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. 1967
10. Донелл Л.Г. Балки, пластинки и оболочки, 1982.
11. Стрелецкий Н.С. стальные конструкции, 1952.
12. Мельников Н.П. Металлические конструкции. Современное состояние и перспективы развития, 1983
13. Под ред. Мельникова Н.П. Справочник проектировщика металлических конструкций, 1980.
14. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек, 1971.
15. Амиро И.Я, Зарункий В.А., Поляков П.С. Ребристые цилиндрические оболочки, 1974.
16. Тимашев С.А. Устойчивость подкрепленных оболочек, 1974
17. Жербин М.М. Высокопрочные строительные стали 1974.
18. КМК 2.03.05.- 97. Пулат қурилмалар лойиҳалаштиришнинг меъёрлари 1997.
19. КМК 2.01.07-96. Юқлар ва таъсирлар, 1996
20. КМК 3.03.02-98. Металл конструкциялар йшлаб чиқариш ва ишларни қабул қилиш қоидалари, 1998.
21. Трушев А.Г. Пространственные металлические конструкции, 1983.