

ЎЗБЕКИСТОН АЛОҚА ВА АХБОРОТЛАШТИРИШ АГЕНТЛИГИ
ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

Қўлёзма ҳукукида
УДК 539.3: 681.06

КАРИМОВА ВЕНЕРА АРКИНОВНА

**ФИЗИК ВА ГЕОМЕТРИК НОЧИЗИҚЛИКЛАРНИ
ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА КОНСТРУКЦИЯЛАР
ДЕФОРМАЦИЯСИНИНГ МАТЕМАТИК
МОДЕЛЛАРИ ВА АЛГОРИТМЛАРИ**

05.13.18. – Математик моделлаштиришнинг назарий асослари

АВТОРЕФЕРАТ

техника фанлари номзоди илмий даражасини олиш учун

Тошкент-2010

Иш Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган

Илмий раҳбар: д.т.н., проф. Косимов С.С.

Расмий оппонентлар: физика ва математика фан доктори,
профессор **Курманбаев Болтабай**

техника фан номзоди,
катта илмий ходим
Равшанов Нормакмад

Етакчи ташкилот: Ўзбекистон Миллий Университети

Ҳимоя 2010 й. «___» _____да соат _____да ихтисослаштирилган кенгаш
мажлисида бўлиб ўтади

Диссертация билан кутубхонада танишиш мумкин

Автореферат 2010 й. «___» _____да тарқатилди

Ихтисослаштирилган кенгашнинг
илмий котиби

т.ф.д., проф. Исмаилов М.А.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ УМУМИЙ ТАВСИФИ

Тадқиқотнинг долзарблиги. Ҳозирги вақтда пластина кўринишидаги конструкциялар элементлари турли иншоотларни қуришда кенг қўлланади. Шунинг учун замонавий компьютер техникаси воситаларидан фойдаланмай туриб, юпқа деворли конструкцияларнинг ночизик масалаларига ўхшаш мураккаб ва кўп факторли масалаларни ечишда ҳисоблашларнинг аниқлигини ошириш, муддатларни қисқартириш мумкин эмас. Шу маънода қурилган математик моделнинг ва унинг асосида ишлаб чиқилган алгоритмлар ва дастурий таъминотнинг долзарблиги ва амалий қиммати, шубҳасиз, ортади, ушбу моделнинг қўлланишидан эса лойиҳа-конструкторлик ишланмалар муддатларининг ва меҳнат сарфининг қисқариши ҳисобига катта иқтисодий самара келтириши кутилади.

Математик методлар ва компьютерлардан кенг фойдаланиш меҳнат унумдорлигини ошириш, ишлаб чиқаришни янада ривожлантириш, бошқарувни такомиллаштириш учун янгидан-янги имкониятлар яратди. Фан, техника, иқтисодиётга математик методларнинг жадал кириб бориши компьютерлар тақдим этган улкан имкониятлардан фойдалана олиш қобилиятига эга бўлган юқори малакали мутахассисларни тайёрлашни талаб этади, чунки улардан фойдаланиш ўрганилаётган объектларнинг математик моделларини қуриш, ҳисоблаш алгоритмларини яратиш билан боғлиқ.

Компьютерлар базасида сонли методларни қўллаш мукамал таҳлилни талаб қилган масалалар синфини бир зумда анча кенгайтириб юборди ва тадқиқотчига математик моделни қуришда аниқ кўринишдаги жавоб олиш имконини берди. Асосий деталлари юпқа стерженлар, пластиналар ва қобиклардан иборат бўлган юпқа деворли конструкцияларга оид масалаларни ҳам шу синфга киритиш мумкин.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Сўнгги 50 йил мобайнида Ўзбекистонда юпқа деворли конструкцияларни ҳисоблаш назариясини алгоритмлаштириш соҳасида қатор тадқиқотлар олиб борилди. Алгоритмлаштиришнинг бошида ЎзР ФА ҳақиқий аъзоси В.К.Қобулов туради. Унинг эластик пластик ва қайишқоқ эластик ночизик масалаларни ечишга оид ғояларини Рашидов Т.Р., Абуталиев Ф.Б., Бўриев Т., Толок А., Бобомуродов К.Ш., Султонов К., Қурмонбоев Б., Эшматов Х., Бадалов Ф., Мирсаидов М., Саъдуллаев Р., Абдусатторов А., Аҳмедов А., Юлдошев Т., Мардонов Б, Маматқулов Ш, Холжигитов А, Назиров Ш.А., Усмонов Р ҳамда уларнинг издошлари давом эттирдилар ва амалга оширдилар. Улар минимал бошланғич ахборотдан фойдаланиб, ҳаракат тенгламасининг келтириб чиқаришдан бошлаб, ҳисоблаб чиқарилган қийматларнинг сон билан ифодаланган миқдорларигача бўлган айрим ҳисоблаш жараёнларини автоматлаштиришга эришдилар [6]. Кичик ва катта букикли юпқа деворли конструкцияларнинг ҳисоблаш методларини яратиш муаммолари Н.А.Алумяэ, В.В.Болотин, В.З. Власов, А.С.Вольмир, Б.Г.Галеркин, К.З.Галимов, А.Л.Гольденвейзер, Э.И.Григолюк, Я.М.Григоренко,

А.Д.Коваленко, А.И.Лурье, Х.М.Муштари, У.К.Нигул, В.В.Новожилов, П.М.Огибалов, А.В.Погорелов, В.И.Феодосьев ва бошқаларнинг тадқиқотларида кўриб чиқилган.

Бу ишларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, қатор масалалар кўшимча тадқиқотларни талаб қилади. Юпқа деворли конструкцияларнинг кучланишлик-деформацион ҳолатига геометрик ва физик ночизикликларнинг таъсири етарли даражада ўрганилмаган. Бу турдаги масалаларни қўйиш ва ечишда юзага келадиган қийинчилик шундаки, кўриб чиқиладиган тенгламаларнинг нафақат ночизиклилик даражаси, балки эластик ва эластик пластик деформациялар соҳалари ўртасидаги чегаралар ҳам аввалдан маълум бўлмайди.

Диссертация мавзусининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертацияда ишлаб чиқилган алгоритмик ва дастурий воситалар ва уларнинг амалда қўлланиши асосида муаллифнинг бевосита иштирокида БФ-Ф1-007-сонли илмий-тадқиқот ишларининг илмий-техник дастурларига мувофиқ “Заиф формалашадиган ахборот тузилмаларида қарорларнинг қабул қилинишини қўллаб-қувватлаш учун маълумотларни тақдим этиш ва ишлашнинг интеллектуал дастурий-техник тизимларини куришнинг назарий методологик асослари”, ИТД 17-005: “Ўқитишни интеллектуал автоматлаштириш тизимларида компьютер тренингларини ташкил қилиш”, ИТД-17: “Ахборот ва телекоммуникацион технологияларни кенг ривожлантириш ва жорий этишни таъминлайдиган замонавий ахборот тизимлари, бошқарув ва таълимнинг интеллектуал воситалари, илмий-техник базалар ва дастурий маҳсулотларни ишлаб чиқиш” мавзулари бўйича бажарилган илмий-тадқиқот ишлари ётади.

Ишнинг мақсади биргаликда физик ва геометрик ночизикликни ҳисобга олган ҳолда пластиналар эгрилигининг статик масаласини ечиш учун математик модель ва алгоритмларни ишлаб чиқишдан иборат бўлиб, улар масалани ечиш жараёнини автоматлаштириш ва кўп вариантли экспериментал тадқиқотлар ўтказиш имконини беради.

Тадқиқот вазифалари қуйидагилардан иборат:

1. Пластиналар эгрилиги ночизиклик масалаларининг моделини куриш;
2. Физик ва геометрик ночизикликни ҳисобга олган ҳолда пластиналар кўринишидаги юпқа деворли конструкцияларни ҳисоблашнинг самарали алгоритминини ишлаб чиқиш;
3. Масалани ечиш жараёнини автоматлаштириш ва ишлаб чиқилган математик моделнинг ишончлилигини тасдиқлайдиган кўп вариантли сонли экспериментал тадқиқотлар олиб бориш имконини берадиган дастурий воситалар комплексини ишлаб чиқиш ва амалга ошириш.

Тадқиқот объекти ва предмети. Ночизиклик хусусиятларига эга бўлган пластина кўринишидаги юпқа деворли конструкцияларнинг кучланишлик-деформацион ҳолати тадқиқот объекти бўлиб хизмат қилади, ночизиклик хусусиятларига эга юпқа деворли конструкцияларнинг

деформацион жараёнлари математик модели, ҳисоблаш алгоритми ва дастурий таъминоти эса тадқиқот предмети бўлиб хизмат қилади.

Тадқиқот методлари. Ишда масалани ечиш учун қуйидаги тақрибий методлардан фойдаланилди: Ритцнинг вариацион методи; А.А.Ильюшиннинг эластик ечимлар методи; кетма-кет яқинлашишлар методи.

Тадқиқот гипотезаси. Яратилган математик моделлар ва алгоритмлар тадқиқот объекти физик ҳолатини физик ва геометрик ночизикликларни ҳисобга олган ҳолда аниқ тавсифлашга имкон беради.

Диссертациянинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат: Ритц усули асосида пластина эгрилиги масаласининг физик ва геометрик ночизиклигини ҳисобга олган ҳолда математик модель яратилиши; пластина кўринишидаги юпқа деворли конструкцияларни физик ва геометрик ночизикликларни ҳисоблашнинг алгоритми тузилди.

Диссертациянинг илмий ва амалий аҳамияти шундаки:

1. математик моделни куриш, алгоритм ва дастурий таъминотни ишлаб чиқиш ва зарур сонли натижаларга эга бўлиш методикаси лойиҳа ташкилотларида қўлланиши ҳамда Ўзбекистон Республикаси олий ўқув муассасаларининг ихтисослаштирилган факультетларида махсус курс сифатида ўқитилиши мумкин;

2. ишлаб чиқилган математик модель, алгоритм ва дастурий таъминот илмий-тадқиқот ва лойиҳа институтларида фойдаланиш учун тавсия этилиши мумкин (дастур Фан ва техника давлат қўмитасида расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисида DGU 01250- ва DGU 01863-сонли гувоҳнома);

3. илмий иш натижалари илова сифатида ишлаб чиқариш воситалари яъни махсус идишлар таянч конструкцияларини махсулот ишлаб чиқариш ҳажмини ошириш мақсадида реконструкция қилиш учун қуйидаги корхоналарда қўлланилди: МЧЖ «УЗТЕЛМАШ» ва ОТАЖ «СамаркандКиме»

Диссертациянинг асосий илмий ҳолатлари:

- физик ва геометрик ночизикликни ҳисобга олган ҳолда пластиналар эгрилиги масаласини ечишнинг математик модели;
- Ритц методи, Ильюшиннинг эластик ечимлари ва кетма-кет яқинлашишлар методидан фойдаланиб, пластиналарнинг кучланишлик-деформацион ҳолатини ҳисоблаш алгоритми;
- ишлаб чиқилган дастурий таъминот асосида пластиналарнинг кучланишлик-деформацион ҳолатини тадқиқ этиш жараёнлари.

Диссертация натижаларининг амалиётда қўлланиши. Диссертацион тадқиқотнинг асосий ҳолатлари ва натижалари қуйидаги тадбирларда эълон қилинди ва муҳокама этилди:

- Назарий ва амалий механика бўйича Бутунроссия VII съездида (Пермь, 2001);
- Тошкент ахборот технологиялари университети “Ахборот технологиялари” кафедрасининг илмий семинарларида;

- АСРХ қатнашчилари бўлган давлатлар студентлари, аспирантлари ва ёш мутахассисларининг “Алоқа техникаси ва технологияси” олтинчи халқаро илмий-техника конференциясида (Тошкент, 2008);

- Академик Х.А.Рахматулиннинг 100 йиллигига бағишланган эластик ва эластик пластик тўлқинларнинг тарқалиши мавзуга бағишланган халқаро конференцияда (Бишкек, 2009);

- “Механика ва машинасозликнинг долзарб муаммолари” мавзуида ўтказилган III халқаро илмий конференцияда (Олма-ота, 2009);

- Тошкент темир йўл транспорти муҳандислари институтида 2009 йил 16-17 сентябрда “Қурилиш фанларини ўқитишнинг ҳозирги замондаги ҳолати ва истиқболлари” мавзуида ўтказилган Республика илмий-техник конференцияда;

Натижаларнинг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 5 тезис ва 5 мақола (улардан тўрттаси журналларда) эълон қилинди.

Ишнинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши кириш, охирида натижалар келтирилган учта боб, хулоса ва 76 номни ўз ичига олган фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат, Диссертациянинг асосий қисми машинкада босилган 125 саҳифада баён этилган бўлиб, 86 расм ва 22 жадвални ўз ичига олади.

Диссертант ушбу тадқиқот бўйича масалани қўйган ва ўзининг қимматли маслаҳатлари ва таклифлари билан катта ёрдам кўрсатган академик Т.Бўриев хотирасини доимо чуқур ҳурмат ва миннатдорлик билан ёд этади. Шунингдек муаллиф академик Т.Рашидов ва т.ф.д. Т.Юлдашевга қимматли маслаҳатлари, қўллаб-қувватлашлари, берган холис баҳолари ва диссертация иши бажарилган бутун вақт давомида кўрсатган диққат-этиборлари учун ўзининг самимий миннатдорчилигини билдиради.

ИШНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Киришда мавзуга оид мавжуд ишларнинг қисқача таҳлили келтирилди, ишнинг долзарблиги асосланди, тадқиқот мақсади ифодаланди, илмий янгилиги ва амалий қиммати белгилаб берилди, ишнинг боблар бўйича қисқача мазмуни баён этилди.

Биринчи бобда муаммонинг ҳозирги вақтда ўрганилганлик ҳолатига тавсиф берилди. Пластинлар деформациясининг нозичиқлик жараёнларини тадқиқ этишда қўлланадиган асосий нисбатлар келтирилди, Ритц методи асосида масаланинг қўйилиши кўрсатиб берилди.

Пластина кучланиш - деформацион ҳолатининг математик модели геометрик ва физик нозичиқликни ҳисобга олган ҳолда Лагранжнинг вариацион принципи асосида шакллантирилади $\delta U = -\delta \vec{I} + \delta \vec{A} = 0$ (1)
Ташқи кучлар билан ишлаш учун вариацион потенциал қувати уртасидаги муносабатни умумий пайтга мослаштирилади ва геометрик гипотезага нисбатан қуйдагига эга бўламиз:

$$\delta U = - \int \int \left[\sum_i N_{ij} \delta \varepsilon_i - \sum_i M_{ij} \delta \chi_i \right] ds + \iiint \sum_i P_i \delta u_i dV + \iint \sum_i q_i \delta u_i ds = 0 \quad (2)$$

Бу ерда $\delta \varepsilon_i$ - вариацион деформация, $\delta \chi_i$ - вариацион эгрилик, δu_i - вариацион ўзгариш, N_{ij} - ички кучланиш, M_{ij} - ички ва эгиловчи моментлари. Вариацион тенглама (2) мувозанат тенгламалари ва статик чегаравий шартларни ўз ичига олади.

Ритц методини масала ечимига қўллаб, жисм билан банд бўлган соҳа учун $\varphi_n(x, y)$ функцияларнинг тўлиқ тизимини танлаб оламиз ва u, v, w кўчишларни

$$u = \sum_n a_n \varphi_{1,n}, v = \sum_n b_n \varphi_{2,n}, w = \sum_n c_n \varphi_{3,n} \quad (3)$$

каторларда ифодалаб, қуйидаги кўринишга эга бўлган кўчишлар вариацияларини топамиз:

$$\delta u = \sum_n \varphi_{1,n} \delta a_n, \delta v = \sum_n \varphi_{2,n} \delta b_n, \delta w = \sum_n \varphi_{3,n} \delta c_n \quad (4)$$

Бу ерда $\varphi_{i,n}$ - (2) вариацияли тенгламанинг чегаравий шартларини қониқтирадиган координат функцияларнинг чизиқли мустақил кетма-кетлиги.

Бунда (2) вариацион тенглама (3)-(4) формулаларни ҳисобга олган ҳолда қуйидаги кўриниш касб этади: $\delta U = \sum_n \left(\frac{\partial U}{\partial a_n} \delta a_n + \frac{\partial U}{\partial b_n} \delta b_n + \frac{\partial U}{\partial c_n} \delta c_n \right)$ (5)

Қуйидаги a_n, b_n, c_n коэффициентларни шундай танлаб оламизки, бунда тизимнинг тўлиқ энергияси минимал даражада бўлиши талаб қилинади. Бунинг учун нулга тенглаштирилган a_n, b_n, c_n коэффициентлар бўйича тўлиқ энергиядан олинган хусусий ҳосилалар кўринишидаги зарур шартлар таркиб топтиради: $\frac{\partial U}{\partial a_n} = 0, \frac{\partial U}{\partial b_n} = 0, \frac{\partial U}{\partial c_n} = 0$ (6)

Бу ҳолда ночизик масалани ечиш учун қуйидаги тенгламалар тизимини ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned} & \int \int \left\{ \left(\frac{1}{9} E h^2 (d_4 - h) \times \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \right) \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x^2} + \frac{1}{9} E h^2 \left((d_4 - h) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x \partial y} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{9} E h^2 \left((d_4 - h) \times \left[\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] \right) \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial y^2} \right\} dy dx = \\ & = \int \int \left\{ - (Q(p_3) + q_3) \times \varphi_{3,n} + (M(p_1) + M(q_1)) \times \frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial x} + (M(p_2) + M(q_2)) \times \frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial y} + \right. \\ & \left. + \left[N_{xx} \times \left(\frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial x} \right)^2 + N_{yy} \times \left(\frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial y} \right)^2 + N_{xy} \times \left(\frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial y} \right)^2 \right] \times c_m + \right. \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{9} Eh^2 d_3 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right) \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x^2} + \frac{1}{4} \left[\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \right] \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x \partial y} + \right. \\
& \left. + \left(\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right) \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial y^2} \right] dy dx ; \\
& \int_y \int_x \left\{ - \left(\frac{4}{3} Eh (1 - d_1) \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\partial y} \right] \right) \times \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} - \frac{Eh}{12} \left[(1 - d_1) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \times \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial y} \right\} dx dy = \\
& = \int_y \int_x \left\{ (N(P_1) + q_1) \times \varphi_{1,m} + \frac{4}{3} Eh \left((1 - d_1) \times \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right] + \right. \right. \\
& \left. \left. + d_2 \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \right) \times \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} + \frac{1}{16} \left(\frac{4 Eh}{3} \left[(1 - d_1) \frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} + 4 d_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] \right) \times \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial y} \right\} dx dy ; \\
& \int_y \int_x \left\{ - \frac{Eh}{12} (1 - d_1) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \times \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} - \frac{4}{3} Eh (1 - d_1) \left[\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{1}{2} \frac{\partial u}{\partial x} \right] \times \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right\} dx dy = \\
& = \int_y \int_x \left\{ (N(P_2) + q_2) \varphi_{2,m} + \left[\frac{Eh}{12} (1 - d_1) \left(\frac{\partial w}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{Eh}{3} d_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] \times \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + \right. \\
& \left. + \frac{4}{3} Eh \left((1 - d_1) \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right] + d_2 \left[\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right] \right) \times \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right\} dx dy .
\end{aligned}$$

Яратилган математик модель асосида пластина туридаги юпқа деворли конструкциялар билан боғлиқ қуйидаги масалалар синфини ечиш мумкиндир:

- чизикли масала, ушбу ҳолда $\omega = 0$, $u = 0$, $v = 0$;
- геометрик нозизиқ масала, ушбу ҳолда $\omega = 0$;
- эластик пластик масала, ушбу ҳолда $u = 0$, $v = 0$;
- нозизизиқ масала физик ва геометрик нозизиқликни биргаликда ҳисобга олган ҳолда (7).

Иккинчи бобда пластиналар кучланишлик-деформацион ҳолатини физик ва геометрик нозизиқликни ҳисобга олган ҳолда ҳисоблаш учун ҳисоблаш алгоритми, шунингдек пластина кўринишидаги юпқа деворли конструкцияларнинг нозизиқ масалаларини ечиш учун ҳисоблаш комплексининг тавсифи келтирилган.

Ҳисоблаш алгоритми Ритцнинг вариацион методи, А.А.Ильющиннинг эластик ечимлар методи, кетма-кет яқинлашишлар методи асосида ишлаб чиқилди.

Қуйидаги u, v, w кўчишларини (3) қаторлар кўринишида берамиз ва қуйидаги белгиларни киритамиз:

$$\begin{aligned}
Q(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m}) &= \int \int_{y \ x} \left\{ \gamma^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x^2} \times \gamma^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial y^2} \times \gamma^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x^2} + \right. \\
&+ \left. \frac{1}{2} \times \gamma^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial y^2} + \gamma \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x \partial y} \times \gamma \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial y^2} \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial y^2} \right\} dx dy, \\
T(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m}) &= \int \int_{y \ x} \left\{ -c_{n^{(k-1)}} \times \frac{d_4}{h} \times \left(\gamma^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x^2} \times \gamma^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial y^2} \times \gamma^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x^2} + \right. \right. \\
&+ \left. \left. \frac{1}{2} \times \gamma^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial y^2} + \gamma \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x \partial y} \times \gamma \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial y^2} \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial y^2} \right) \right\} dx dy, \\
P(\varphi_{3,m}) &= \int \int_{y \ x} \left\{ -\frac{9b^4}{Eh^4} \times (Q(p_3) + q_3) \times \varphi_{3,m} - \right. \\
&- \frac{9b^4}{Eh^4} (M(p_1) + M(q_2)) \frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial x} - \frac{9b^4}{Eh^4} (M(p_2) + M(q_2)) \frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial y} \left. \right\} dx dy, \\
N(\varphi_{3,m}) &= \int \int_{y \ x} \left\{ \frac{9b^2}{Eh^3} \left[N_{xx} \times \left(\gamma \frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial x} \right)^2 + N_{yy} \times \left(\frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial y} \right)^2 + N_{xy} \times \left(\gamma \frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{3,m}}{\partial y} \right)^2 \right] \times c_{m^{(k-1)}} \right\} dx dy, \\
\ddot{I}(\varphi_{1,n}, \varphi_{2,n}, \varphi_{3,m}) &= \int \int_{y \ x} \left\{ d_3 \left[\beta a_{n^{(k-1)}} \gamma \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial x} + \frac{1}{2} \beta b_{n^{(k-1)}} \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial y} + \frac{1}{2} \left(c_{n^{(k-1)}} \gamma \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{4} \left(c_{n^{(k-1)}} \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial y} \right)^2 \right] \times \right. \\
&\times \gamma^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x^2} + \frac{1}{4} d_3 \left(\beta a_{n^{(k-1)}} \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial y} + \gamma \beta b_{n^{(k-1)}} \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial x} + \gamma \left(c_{n^{(k-1)}} \right)^2 \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial y} \right) \times \gamma \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial x \partial y} + \\
&+ d_3 \left(\beta b_{n^{(k-1)}} \times \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial y} + \frac{1}{2} \beta \gamma \times a_{n^{(k-1)}} \times \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial x} + \frac{1}{2} \left(c_{n^{(k-1)}} \times \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial y} \right)^2 + \right. \\
&+ \left. \frac{1}{4} d_3 \left(c_{n^{(k-1)}} \times \gamma \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial x} \right)^2 \right) \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,m}}{\partial y^2} \left. \right\} dx dy, \\
P_{11}(\varphi_{1,n}, \varphi_{1,m}) &= \int \int_{y \ x} \left(\gamma^2 \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} + \frac{1}{16} \gamma \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial y} \right) dx dy, \\
P_{12}(\varphi_{2,n}, \varphi_{1,m}) &= \int \int_{y \ x} \left(\frac{\gamma}{2} \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} + \gamma \frac{1}{16} \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial y} \right) dx dy, \\
N(\varphi_{1,m}) &= \int \int_{y \ x} \frac{3b^2}{4Eh} (N(P_1) + q_1) \times \varphi_{1,m} dx dy, \\
T_1(\varphi_{1,n}, \varphi_{1,m}) &= \int \int_{y \ x} d_1 \left[a_{n^{(k-1)}} \left(\gamma^2 \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} + \frac{1}{16} \gamma \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial y} \right) + \right.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + b_{n^{(k-1)}} \left\{ \frac{\gamma}{2} \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} + \gamma \frac{1}{16} \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial y} \right\} \Bigg] dx dy, \\
N_1(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}) &= \gamma \beta \int \int_{y \times x} \left\{ (1 - d_1) \left(c_{n^{(k-1)}} \right)^2 \times \left(\frac{1}{2} \frac{h^2}{a^2} \left(\gamma \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} + \frac{1}{4 \beta^2} \gamma \left(\frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} \right. \right. \\
& + \left. \frac{1}{16} \gamma \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial y} + \frac{1}{12 a} \times d_2 \times \gamma \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x \partial y} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial y} \right\} dx dy, \\
\tilde{I}_1(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}) &= \frac{h}{b^2} \int \int_{y \times x} \left\{ d_2 c_{n^{(k-1)}} \times \left(\gamma^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x^2} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} + \frac{1}{2} \times \gamma \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial y^2} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial x} + \right. \right. \\
& + \left. \frac{1}{12} \times \frac{h}{a} c_{n^{(k-1)}} \times \gamma \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x \partial y} \frac{\partial \varphi_{1,m}}{\partial y} \right\} dx dy, \\
P_{21}(\varphi_{1,n}, \varphi_{2,m}) &= \int \int_{y \times x} \left\{ \frac{1}{4} \gamma \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + 2 \gamma \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right\} dx dy, \\
P_{22}(\varphi_{2,n}, \varphi_{2,m}) &= \int \int_{y \times x} \left\{ \gamma^2 \frac{1}{4} \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + 4 \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right\} dx dy, \\
N(\varphi_{2,m}) &= \int \int_{y \times x} \frac{3b^2}{4Eh} (N(P_2) + q_2) \times \varphi_{2,m} dx dy, \\
T_2(\varphi_{2,n}, \varphi_{2,m}) &= \int \int_{y \times x} d_1 \left[a_{n^{(k-1)}} \times \left(\frac{1}{16} \gamma \frac{\partial \varphi_{1,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + \frac{\gamma}{2} \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right) + \right. \\
& + \left. b_{n^{(k-1)}} \times \left(\frac{1}{16} \gamma^2 \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + \frac{\partial \varphi_{2,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right) \right] dx dy, \\
N_2(\varphi_{3,n}, \varphi_{2,m}) &= \int \int_{y \times x} \left\{ (1 - d_1) \left(c_{n^{(k-1)}} \right)^2 \times \left(\frac{h}{16 a} \gamma^2 \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial x} \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + \right. \right. \\
& + \left. \frac{1}{4 \beta} \left(\gamma \frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} + \frac{1}{2 \beta} \left(\frac{\partial \varphi_{3,n}}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right\} dx dy, \\
\tilde{I}_2(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}) &= \int \int_{y \times x} \left\{ \frac{d_2}{h} c_{n^{(k-1)}} \times \left(\frac{h}{4 a} \times \gamma^2 \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x \partial y} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial x} + \gamma \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial y^2} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} + \right. \right. \\
& + \left. \frac{1}{2} \times \gamma^2 \times \frac{\partial^2 \varphi_{3,n}}{\partial x^2} \frac{\partial \varphi_{2,m}}{\partial y} \right\} dx dy.
\end{aligned}$$

Киритилган (8) белгиларни ҳисобга олган ҳолда (7) тенгламалар тизимидан қуйидаги ночизик алгебраик тенгламалар тизимига эга бўламиз:

$$\begin{aligned}
C_n Q(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m}) &= P(\varphi_{3,m}) + N(\varphi_{3,m}) + \tilde{I}(\varphi_{1,n}, \varphi_{2,n}, \varphi_{3,m}) + T(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m}, d_4), \\
[a_n P_{11}(\varphi_{1,n}, \varphi_{1,m}) + b_n P_{12}(\varphi_{2,n}, \varphi_{1,m})] &= N(\varphi_{1,m}) + N_1(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}, d_1) + \tilde{I}_1(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}, d_2) +
\end{aligned} \tag{9}$$

$$+ T_1(\varphi_{1,n}, \varphi_{1,m}, d_1), \\ [a_n P_{21}(\varphi_{1,n}, \varphi_{2,m}) + b_n P_{22}(\varphi_{2,n}, \varphi_{2,m})] = N(\varphi_{2,m}) + N_2(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}, d_1) + \tilde{I}_2(\varphi_{3,\partial}, \varphi_{1,m}, d_2) + \\ + T_2(\varphi_{2,n}, \varphi_{2,m}, d_1)$$

Биринчи тенгламадан (9) қидирилаётган c_n параметрни аниқлаймиз:

$$c_n = [Q(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m})]^{-1} \times [P(\varphi_{3,m}) + N(\varphi_{3,m}) + \tilde{I}(\varphi_{1,n}, \varphi_{2,n}, \varphi_{3,m}) + T(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m}, d_4)]. \quad (10)$$

бу ерда $P(\varphi_{3,m})$ - тенгламанинг чизикли қўшилувчиси;

$N(\varphi_{3,m}), \tilde{I}(\varphi_{1,n}, \varphi_{2,n}, \varphi_{3,m}), T(\varphi_{3,n}, \varphi_{3,m}, d_4)$ - тенгламанинг ночизик қўшилувчилари.

Қуйидаги белгиларни киритамиз:

$$R_1 = [N(\varphi_{1,m}) + N_1(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}, d_1) + \tilde{I}_1(\varphi_{3,\partial}, \varphi_{1,m}, d_2) + T_1(\varphi_{1,n}, \varphi_{1,m}, d_1)] \quad (11)$$

$$R_2 = [N(\varphi_{2,m}) + N_2(\varphi_{3,n}, \varphi_{1,m}, d_1) + \tilde{I}_2(\varphi_{3,\partial}, \varphi_{1,m}, d_2) + T_2(\varphi_{2,n}, \varphi_{2,m}, d_1)]$$

Бунда киритилган белгиларни (11) ҳисобга олиб, (9) тенгламалар тизимидан қуйидаги алгебраик тенгламалар тизимига эга бўламиз:

$$P_{11} a_n + P_{12} b_n = R_1 \quad (12)$$

$$P_{21} a_n + P_{22} b_n = R_2$$

Натижада қуйидаги вектор тенглама келиб чиқади:

$$P_n \bar{Y}_n = \bar{\Phi}_n \quad (13)$$

$$\text{бу ерда } P_n = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{vmatrix}, \quad \bar{\Phi}_n = \begin{vmatrix} R_1 \\ R_2 \end{vmatrix}, \quad \bar{Y}_n = \begin{vmatrix} a_n \\ b_n \end{vmatrix} \quad (14)$$

Тенгламадан қидирилаётган $\bar{Y}_n$ векторини аниқлаймиз

$$\bar{Y}_n = P_n^{-1} \bar{\Phi}_n \quad (15)$$

Масаланинг ечими пластиналар эгрилигининг чизикли тенгламасидан бошланади. Кейинчалик ночизик қўшилувчилар ҳисобга олинади. Бунда қуйидаги шарт таъминланиши лозим: $|w_{\max}^k - w_{\max}^{k-1}| \leq \varepsilon_1, |M_{ii \max}^k - M_{ii \max}^{k-1}| \leq \varepsilon_2 \quad (16).$

Шундай қилиб, итерациялар миқдори аниқланади. Қуйидаги $\frac{e_i}{e_s} > 1$ ва (ёки) $w > \frac{h}{4}$ шартлар бажарилганидан кейин k нинг ҳар бир қийматида (10) ва (15) тенгламалар ечилади. Масала (16) шарт бажарилгунга қадар ечилади. Диссертация ишида ночизик масалани ечишнинг батафсил схемаси келтирилган.

Шу бобнинг ўзида яна ночизик масалаларни ечиш учун ҳисоблаш комплексининг тавсифи келтирилган бўлиб, у бошқарувчи блок ва ҳисоблаш блокидан иборат. Бошқарувчи блок пластина кўринишидаги юпқа деворли конструкциялар масалалари синфини ечиш учун модулларни ўз ичига олади. Ҳисоблаш блоки процедуралар ва функциялар кўринишида шакллантирилган модулдан, шунингдек типлар ва константалар ҳамда ҳисоблаш натижаларини шакллантириш модулларидан иборат. Бунга қуйидагилар учун хизмат қиладиган модуллар ҳам киради: интегралларни ҳисоблаш, Гаусс тугунлари ва вазнларини генерациялаш; муайян чегаравий шартлар учун координат функциялар тизимларининг қийматларини ҳисоблаш; координат функциялари тизимини ортонормалаш; ечиладиган тенгламалар

элементларини шакллантириш учун; матрицалар алгебраси (матрицалар билан операциялар, матрица детерминантларини ҳисоблаш, тескари матрицани топиш); тенгламаларни ечиш; номаълум s ни шакллантириш ва w кўчишларни ҳамда уларнинг тегишли тартибдаги ҳосилаларини топиш; номаълум a ва b сонларини шакллантириш; u, v, w^* кўчишларни ҳамда уларнинг тегишли тартибдаги ҳосилаларини топиш; кучланишлар ва деформациялар интенсивлигини ҳисоблаш учун мўлжалланган; Ильюшин функцияси ω нинг, d_1, d_2, d_3, d_4 функцияларининг қийматларини ҳисоблаш модули.

Ҳисоблаш комплекси шахсий компьютерлар учун Windows муҳитида Borland Delphi Enterprise version 7.0. тилида амалга оширилган.

Учинчи боб да пластина кўринишидаги юпка деворли элементларнинг чизикли ва ночизик ҳолатида масалани ечиш ишончилиги исботлаб берилди. Бунда бошқа муаллифлар томонидан олинган натижаларни қиёслашга асосланildi ёки олинган натижалар ишончилигини исботлаш учун ушбу натижаларнинг танлаб олинган Гаусс координата функциялари ва тугунларига нисбатан мос келишига эътибор берилди.

Математик моделни ва ҳисоблаш алгоритм адекватлигини текшириш учун биринчи ва иккинчи масала ечими сонли натижалари адабиётларда келтирилган натижалар билан солиштирилган. Барча тест масалаларида олинган натижалар бошқа муаллифлар натижалари билан мос келиши аниқландики, бу танлаб олинган методика ва алгоритмнинг тўғрилигидан далолат беради. Сонли натижалар стабилизацияси интеграллаштириш координата функциялари ва тугунларининг сонларига боғлиқ ҳолда тадқиқ этилди.

Учинчи масалада контури бўйлаб бикр қисилган ва бир текисда юклама билан юкланган тўғри бурчакли пластинанинг статик чизикли ва чизиксиз эластик пластик эгиклик масаласи тадқиқ этилди ва натижалари келтирилди. Олинган натижалар Т.Бўриев томонидан олинган натижалар билан қиёсланди. Эгикликларга нисбатан олинган натижалар $NK=15$ да вергулдан кейин турган учинчи белгигача мос келади. Натижаларнинг Гаусс координата функциялари миқдори ва тугунлари миқдорига нисбатан мос келиши тадқиқ этилганда, шуни айтиш мумкинки, ишда w, e_{i1}, e_{i2} нинг ҳисоблари учинчи-тўртинчи белгигача мос келадик, бу олинган натижаларнинг тўғрилигини тасдиқлайди. Диссертация ишида $[0;0.5;0;0.5]$ соҳасида олинган пластик деформациялар зоналарининг натижалари Т.Бўриев ишида келтирилган натижалар билан қиёсланганда, шуни айтиш мумкинки, эластик ва эластик пластик зоналар бир-бирига мос келади.

Тўртинчи ва бешинчи масалаларда пластинанинг бутун соҳаси бўйлаб бир текисда юклама билан таъсир кўрсатилганда, эркин таянган ва контури бўйлаб бикр қисилган тўғри бурчакли пластина эгрилигининг ночизик геометрик масаласи ечимининг ишончилиги асослаб берилди. Натижалар таҳлили шуни кўрсатадиги, олинган натижалар бошқа муаллифлар натижалари билан қиёсланганда, улар сифат ва миқдор жиҳатдан мос келиши

аён бўлди. Натижаларнинг Гаусс тугунлари миқдорига нисбатан мослиги тадқиқ этилганда ҳисоблаш натижалари вергулдан кейин тўртинчи-бешинчи белгигача бир-бирига мос келиши маълум бўлди. Ҳисоблаш тажрибасининг натижалари шуни кўрсатадики, координата функцияларига нисбатан натижалар стабилизациясига олтита координата функцияларида эришиш мумкин бўлар экан. Томонлар нисбатларининг ортиши билан букиклар ва эгувчи кучланишлар миқдорлари ҳам ўсиб боради.

Олтинчи ва еттинчи масалаларда физик ва геометрик ночизикликни ҳисобга олган ҳолда масала ечимининг тадқиқи келтирилди. Контур бўйлаб шарнирли тиралган ва бир текисда юклама билан юкланган аралаш чегаравий шартларга эга бўлган пластина кўриб чиқилди. Қурилган пластиклик зоналарининг ва δ нинг сонли қийматларининг таҳлили ўтказилар экан, шу нарса аён бўладики, юклама ортиши билан пластиклик зоналари пластинанинг бутун юзаси бўйлаб намоён бўлади. Бунинг устига юклама ортиши билан доимий ўзига хос юклама қийматининг ўта эластик доимий ўзига хос юклама δ қийматига нисбати максимал даражада бўлади, фақат пластина марказида эмас.

1-жадвал

Катталик	Ҳисоблаш методи	$q_0 \left(\frac{\varepsilon \ddot{a}}{\ddot{n} i^2} \right)$		
		26,4	58,7	132,15
		$k_1=8$ $k_2=5$	$k_1=10$ $k_2=6$	$k_1=13$ $k_2=8$
$w_0(0,0)$	геометрик ночизиклик ҳолати	0,1344	0,2908	0,6183
	геометрик ва физик ночизиклик ҳолати	0,1373	0,3052	0,6867
$\sigma_1^u(0,0)$	геометрик ночизиклик ҳолати	140,1116	311,5360	701,3540
	геометрик ва физик ночизиклик ҳолати	139,6404	150,1324	173,8264
$\sigma_1^i(0,0)$	геометрик ночизиклик ҳолати	497,0267	1076,4617	2288,4141
	геометрик ва физик ночизиклик ҳолати	17,7916	39,5431	88,9742

Юқоридаги 1-жадвалда ночизик геометрик масалани ечиш ҳолатида ҳамда физик ва геометрик ночизиклик ҳисобга олинган ҳолдаги масалани ечиш ҳолатида контури бўйлаб шарнирли тиралган пластина учун ҳисоблаш натижалари келтирилди. Геометрик ночизикликни ҳисобга олувчи итерациялар сонини k_1 -орқали белгилаймиз, k_2 – орқали физик

ночизикликни ҳисобга олувчи итерациялар сонини, ҳамда $w_0(0,0)$, $\sigma_1''(0,0)$, $\sigma_1^i(0,0)$ орқали мос равишда эгилиш, занжирли ва эгувчи кучланишларни белгилаймиз.

Натижаларнинг Гаусс тугунлари микдорига нисбатан мослиги текширилганда, ҳисоблаш натижалари вергулдан кейин тўртинчи-бешинчи белгиларгача мос келиши маълум бўлганини айтиб ўтиш лозим.

Масала физик ва геометрик ночизикликни ҳисобга олиб ечилган ҳолатда чизикли масалани ҳисоблаш натижаларига нисбатан ва геометрик ночизиклик ҳолатига нисбатан деформация интенсивлигини, Ильюшин ω функциясининг қийматини ва пластина марказида моментлар қийматини ҳисоблаш натижалари анча камаяди.

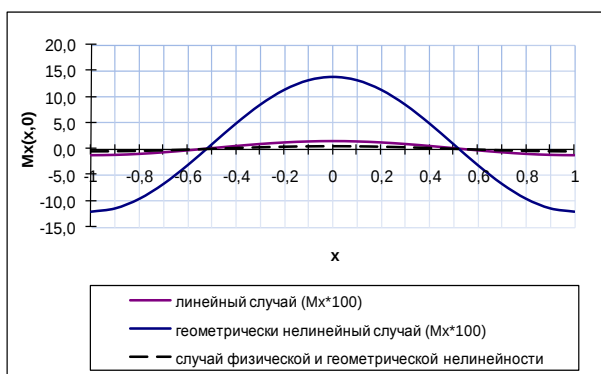
Берилган юклама қийматида u ва v кўчишларнинг ўзгариши кўриб чиқилди. Кўчишлар u ва v берилган юклама q_0 га боғлиқлиги келтирилди. Геометрик ночизиклик ҳолати ҳамда физик ва геометрик ночизиклик ҳолати учун аввалдан берилган юклама қийматида $N11$ ва $N22$ зўриқишларнинг ўзгариши келтирилди. Геометрик ночизиклик ҳолатида ҳамда физик ва геометрик ночизиклик ҳолатида $N11$ ва $N22$ зўриқишларнинг аввалдан берилган q_0 юкламасига боғлиқликлари тадқиқ этилганда шу нарса аён бўлдики, юклама ортган сайин $N11$ ва $N22$ зўриқишларнинг сонли қийматлари ҳам ортиб боради.

Физик ва геометрик ночизиклик ҳолатида $M_x(x,0)$ ва $M_y(0,y)$ моментлари ҳисоблаш катталикларининг графиклари келтирилди. Графиклар таҳлили шуни кўрсатадики, $M_x(x,0)$ ва $M_y(0,y)$ моментларининг қийматлари берилган юклама қийматида ва маҳкамлаш шarti билан бири-бирига мос келади. $M_x(0,y)$ ва $M_y(x,0)$ моментлари қийматлари ҳам худди шундай мос келади. Натижалар таҳлили шуни кўрсатдики, чизикли ва геометрик ночизик ҳолатлардаги моментлар учун статик чегаравий шартлар айнан бир хил бажарилади, геометрик ва физик ночизиклик ҳисобга олинганда эса моментлар ва зўриқишлар учун муносабатларга қўшимча қўшилувчилар киритилади. Бу қўшилувчилар геометрик ва физик ночизикликлар биргаликда ҳисобланганда эгилувчан пластиналарни ҳисоблашда моментлар ва зўриқишларнинг қийматларига анчагина таъсир кўрсатади.

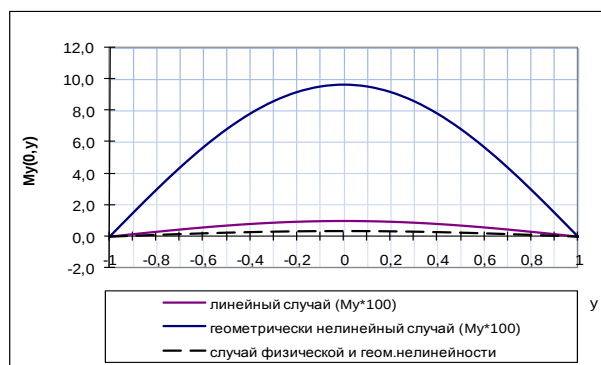
Шунингдек аралаш чегаравий шартларга эга бўлган пластинанинг бир текисда энлама юклангандаги кучланишлик-деформацион ҳолати ўрганилди. Бундай маҳкамлаш шароитида, пластинанинг ҳамма чеккалари шарнирли тиралган ҳолатдан фарқли ўлароқ, пластиклик зоналари пластина марказидагина эмас, шунингдек $(0,1)$ ва $(0,-1)$ нуқталарида ҳам кузатилади. Диссертацияда пластина марказида букиклар, деформациялар интенсивлиги ва Ильюшин функциясини ҳисоблаш натижалари келтирилди. Берилган юклама қийматида $u(x;0)$ нуқтасида ва $v(0;y)$ нуқтасида кўчишларининг ўзгариши келтирилди. Геометрик ночизиклик ҳолати ва физик ва геометрик ночизиклик ҳолати учун $N11$ ва $N22$ зўриқишларининг берилган юклама қийматида ўзгариши келтирилди. Геометрик ночизиклик ҳолати ҳамда

физик ва геометрик ночизиклик ҳолатида $N11$ ва $N22$ зўриқишлари ҳисоблаш натижаларининг таҳлили келтирилган.

Физик ва геометрик ночизиклик ҳолатида $M_x(x,0)$ ва $M_y(0,y)$ моментларини ҳисоблаш қийматларининг графиклари келтирилди. Графикларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, берилган юклама қийматлари ва маҳкамлаш шартида $M_x(x,0)$ ва $M_y(0,y)$ моментларининг қийматлари бир-бирига мос келмайди. Худди шундай тарзда $M_x(0,y)$ ва $M_y(x,0)$ моментларининг ҳам бир-бирига мос келмаслиги кузатилади. Қуйидаги 1- ва 2-расмларда чизикли ҳолатда, геометрик ночизикликни ҳисоблаш ҳолатида ҳамда геометрик ва физик ночизиклик ҳолатида берилган юклама қийматида $M_x(x,0)$ ва $M_y(0,y)$ моментларининг қийматлари келтирилди.



1-расм. Чизикли, геометрик ночизиклик масалаларини ечиш ҳолатларида ва геометрик ва физик ночизиклик ҳолатида $q_0 = 12,3$ да $M_x(x;0)$ қийматлари энюралари



2-расм. Чизикли, геометрик ночизиклик масалаларини ечиш ҳолатларида ва геометрик ва физик ночизиклик ҳолатида $q_0 = 12,3$ да $M_y(0;y)$ қийматлари энюралари

Кўриниб турганидек, чизикли ва геометрик ночизик масалани ечиш ҳолатида қисилган контурда моментларнинг қиймати нолдан фарқ қилади, эркин тиралган контурда эса нолга тенг бўлади. Геометрик ва физик ночизиклик ҳолатида эса моментлар қиймати сезиларли даражада камаяди.

Шундай қилиб, геометрик ночизикликнинг ҳисобга олиниши N_{ij} зўриқишининг юзага келиш оқибатида пластина ўрта юзасининг деформациясига олиб келади. Бу, ўз навбатида, пластинада эгувчи ва буровчи моментларнинг ўзгаришини келтириб чиқаради. Бир пайтнинг ўзида геометрик ва физик ночизикликни ҳисобга олиш пластина жисмида N_{ij} ички зўриқишлар ва M_{ij} моментларнинг қайта тақсимланишига олиб келади.

ХУЛОСА

Амалга оширилган тадқиқотлар асосида қуйидаги назарий ва амалий хулосаларга келиш мумкин:

1. Диссертацияда пластина кўринишидаги юпка деворли конструкциялар деформацияланган ҳолатини ўрганиш бўйича тадқиқот олиб борилди:
 - тадқиқ этилаётган муаммонинг математик модели яратилди;
 - кўйидаги ҳисоблаш методлари: Ритц методи, А.А.Ильющиннинг эластик ечимлари ва кетма-кет яқинлашишлар методларидан фойдаланиб, мақбул сонли натижаларни олиш алгоритми ишлаб чиқилди;
 - масалани ечиш жараёнини автоматлаштирадиган дастурий таъминот яратилди.
2. Юпка деворли конструкциялар учун ночизик масалаларни ечиш учун мўлжалланган ҳисоблаш комплекси очик ҳисоблаш тизими сифатида яратилган бўлиб, комплекс кўйидаги имкониятларга эга:
 - масалани ечиш жараёнини автоматлаштириш;
 - юпка деворли конструкциялар учун янги масалаларни ечишга мўлжалланган модулларни қўшиш;
 - пластиналарнинг чизикли ва ночизик эгилиши билан боғлиқ масалаларни ўрганиш учун кўп вариантли ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш.
3. Ҳар хил чегаравий шартларга эга бўлган турли эгиловчан пластинкасимон конструкциялар учун чизикли ва ночизик кучланишлик ҳолатларини тадқиқ этиш бўйича бир қатор аниқ масалалар ечими келтирилди.
4. Сонли натижаларнинг ишончилигини исботлаш учун чизикли, геометрик ночизик ва эластик пластик масалалар алоҳида тадқиқ этилди. Алоҳида ўзига хос нуқталар учун олинган натижалар қатор муаллифларнинг, хусусан С.П.Тимошенко, В.И.Самуль, ва Т.Бўриевларнинг маълум натижаларига мос келади;
5. Деформациялашнинг ночизик жараёнларини тадқиқ этиш механизмлари ишлаб чиқилган бўлиб, улар пластинкасимон конструкцияларда геометрик ва физик ночизикликни биргаликда ҳисобга оладиган бир қатор янги ночизик масалаларни ечиш имконини берди. Шарнирли маҳкамланган, бикр қисилган ва аралаш ҳолда маҳкамланган пластиналар кўриб чиқилди. Деформацияланиш параметрларининг геометрик ва физик ночизикликлари ҳисобга олингандаги таъсирини очиб берадиган бир қатор янги сонли натижалар олинди.

Шундай қилиб, пластиналар кўринишидаги юпка деворли конструкциялар деформациясининг ночизик жараёнларини математик моделлаштиришга оид олиб борилган тадқиқотлар натижалари бир қатор амалий масалаларнинг статик ва динамик юкланганлигида кучланишлик-деформацион ҳолатни ўрганишда янги имкониятларни очиб беради.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

1. Каримова В.А. Автоматизация исследования устойчивости упругопластических пластин сложных конфигураций.// Узб.журнал "Проблемы информатики и энергетики", - 1998. - №6. – С.14-18.
2. Каримова В.А. Устойчивость пластин сложных конфигураций в пределах и за пределом упругости.//Восьмой всерос.съезд по теорет. и прикл. Механике,- Пермь,-2001. – 310 стр.
3. Қосимов С.С., Каримова В.А. Вычислительный алгоритм для расчета устойчивости пластин при однородном напряженном состоянии. – ДАН РУз. – 2007. – вып. 6. – С.37-40.
4. Қосимов С.С., Каримова В.А. Мураккаб конфигурацияли пластиналар тургунлигини бир жинсли кучланиш ҳолатида тадқиқ этиш учун дастурий воситалар. “ЭҲМ учун дастурлар. Расмий ахборотнома”. – № 4. 30.04.2007.. – 193 саҳифа.
5. Каримова В.А. Современный подход к решению проблемы автоматизации полного расчета пластин и оболочек. //тезисы докладов шестой международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов государств участников РСС «Техника и технологии связи». – Ташкент. – 9-10 октября 2008 года. – С.247-248.
6. Каримова В.А. Решение нелинейных задач тонкостенных конструкций.// Узб.журнал "Проблемы механики". – 2009. – N5-6 – С. 90-95.
7. Каримова В.А. Расчет пластин с учетом физической и геометрической нелинейности // материалы республиканской научно-технической конференции (16-17 сентября 2009 г.) – Ташкент – 2009. – С.73-74.
8. Рашидов Т.Р., Каримова В.А. Разработка алгоритма и программного обеспечения для решения задачи изгиба пластин //Международная конференция по распространению упругих и упругопластических волн. – Бишкек. –2009. – С.347-350.
9. Рашидов Т.Р., Юлдашев Т., Каримова В.А. Алгоритм расчета напряженно-деформационного состояния пластин с учетом физической и геометрической нелинейности// Международная научная конференция «Актуальные проблемы механики и машиностроения». – Алматы. – 2009. – С.138-142.
10. Юлдашев Т., Каримова В.А. Пластиналар кучланишлик-деформацион ҳолатини физик ва геометрик нозичизикликини ҳисобга олган ҳолда ечиш учун мўлжалланган дастурий восита. “ЭҲМ учун дастурлар. Расмий ахборотнома”. – № 12. 31.12.2009. – 140 саҳифа.
11. Рашидов Т.Р., Юлдашев Т., Каримова В.А. К решению нелинейных задач изгиба пластин. – ДАН РУз. – 2010. – № 1. – С.50-53.
12. Каримова В.А. Автоматизация расчета тонкостенных конструкций.// Узб.журнал "ТАТУ хабарлари". – 2010. – N2 - с 80-84.

ТАЪРИФИ

Каримова Венера Аркиновнанинг “Физик ва геометрик ночизикликларни ҳисобга олган ҳолда конструкциялар деформациясининг математик моделлари ва алгоритмлари” мавзuida 05.13.18. – “Математик моделлаштиришнинг назарий асослари” мутахассислиги бўйича техника фанлари номзоди илмий даражасини олиш учун ёзилган диссертациясининг

Калит сўзлар: ташқи кучлар ва потенциал энергия ишининг вариациялари, ички кучлар, ички эгувчи ва буровчи моментлар, нормал ва уринма кучланишлар ва деформациялар, пластиналарнинг кучланишлик-деформацион ҳолати, Ильюшин функцияси, кучланишлар интенсивлиги, деформациялар интенсивлиги.

Тадқиқот объектлари: пластиналар кучланишлик-деформацион ҳолатининг шаклланиш жараёнлари.

Тадқиқот методлари: ишда масалани ечиш учун қуйидаги тақрибий методлардан фойдаланилди: Ритцнинг вариацион методи; А.А.Ильюшиннинг эластик ечимлар методи; кетма-кет яқинлашишлар методи.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: пластиналар эгилишининг физик ва геометрик ночизиклик масаласини ечишнинг математик модели яратилди, унинг асосида Ритц методи, А.А.Ильюшиннинг эластик ечимлар методи ва кетма-кет яқинлашишлар методидан фойдаланиб, пластиналар кучланишлик-деформацион ҳолатини ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилди. Таклиф этилаётган тадқиқотнинг янгилиги қуйидагиларда намоён бўлади: Ритц методи асосида ночизик масалани ечишнинг математик модели яратилди; юқорида келтирилганлар асосида масалани ечиш алгоритми ишлаб чиқилди ҳамда масалани ечиш жараёнини автоматлаштириш имконини берадиган дастурий воситалар комплекси яратилди

Диссертациянинг амалий аҳамияти: ишлаб чиқилган математик модель, алгоритм ва дастурий таъминот илмий-тадқиқот ва лойиҳа институтларида фойдаланиш учун тавсия этилиши, математик моделни қуриш, алгоритм ва дастурий таъминотни ишлаб чиқиш методикаси эса лойиҳа ташкилотларида қўлланиши ҳамда Ўзбекистон Республикаси олий ўқув муассасаларининг ихтисослаштирилган факультетларида махсус курс сифатида ўқитилиши мумкин.

Жорий этилганлик даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: тадқиқот натижалари саноатнинг пластина кўринишидаги конструкциялар қўлланадиган турли соҳаларида қўлланиши мумкин. Яратилган алгоритм ва дастурий таъминотнинг қўлланиши лойиҳа-конструкторлик ишланмалар муддатларининг ва меҳнат сарфининг қисқариши ҳисобига катта иқтисодий самара келтириши мумкин.

Фойдаланиш соҳаси: машинасозлик, кемасозлик, учиш аппаратлари, энергетика, қурилиш.

РЕЗЮМЕ

диссертации Каримовой Венеры Аркиновны на тему: «Математические модели и алгоритмы деформации конструкций с учетом физической и геометрической нелинейностей» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Теоретические основы математического моделирования».

Ключевые слова: вариации работы внешних сил и потенциальной энергии, внутренние усилия, внутренние изгибающие и крутящие моменты, нормальные и касательные напряжения и деформации, напряженно-деформационное состояние пластин, функция Ильюшина, интенсивность напряжений, интенсивность деформаций.

Объекты исследования: процессы формирования напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций

Методы исследования: в работе для решения задачи используются следующие приближенные методы: вариационный метод Ритца; метод упругих решений А.А.Ильюшина; метод последовательных приближений.

Полученные результаты и их новизна: получена математическая модель решения физически и геометрически нелинейной задачи изгиба пластин, на основе которой разработан алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния пластин с использованием метода Ритца, упругих решений А.А.Ильюшина и метода последовательных приближений. Новизна предлагаемой работы заключается в следующем: выведена математическая модель решения нелинейной задачи на основе метода Ритца; разработан алгоритм решения задачи и создан комплекс программных средств, позволяющий автоматизировать процесс решения задачи.

Практическая значимость: состоит в том, что разработанная математическая модель, алгоритм и программное обеспечение могут быть рекомендованы для научно-исследовательских и проектных институтов, а методика построения математической модели, разработки алгоритма и программного обеспечения может быть использована в проектных организациях и специализированных факультетах Университетов Республики Узбекистан.

Степень внедрения и экономическая эффективность: результаты исследований могут быть использованы в различных отраслях промышленности, где используются конструкции, типа пластины. Использование алгоритма и созданного программного обеспечения сулит довольно существенный экономический эффект за счет сокращения сроков и трудоёмкости проектно-конструкторских разработок.

Область применения: машиностроение, кораблестроение, летательные аппараты, энергетика, строительство.

SUMMARY

dissertation for the degree of candidate of technical sciences Venera Karimova on the topic: “Mathematical models and algorithms for deformation of structures with a glance of physical and geometrical nonlinearities”, specialty 05.13.18 – “The theoretical basis of mathematical modeling”.

Keywords: variation of the external forces and potential energy, internal efforts, the internal bending and twisting moments, normal and tangential stresses and strains, stress-strain state of plates, Ilyushin’s function, stress intensity, the intensity of deformation.

Objects of research: the formation of stress-strain state of thin-walled structures

Methods of research: In this paper for solving the problem was used the following approximate methods: the variation Ritz’s method, the method of elastic solutions by A. Ilyushin, the method of consecutive approximations.

The findings and their novelty: the mathematical model solutions for physically and geometrically nonlinear bending problem of plates based on which was made the algorithm of calculating the stress-strain state of plates using the Ritz’s method, the elastic solution by Ilyushin and the method of successive approximations were found.

The novelty of the proposed work is as follows: was derived a mathematical model for solving the nonlinear problem on the basis of the Ritz’s method, an algorithm for solving the problem, and a set of software tools to automate the process of solving the problem have been created.

Practical significance: the developed mathematical model, algorithm and software can be recommended for research and design institutes: the method of mathematical model constructing also as well as algorithm development and software can be used in designing organizations and specialized departments of the Universities of the Republic of Uzbekistan.

The degree of implementation and economic efficiency: the results of research can be used in various industries that use different type of the metal plates for design. The significant economic can be achieved by reducing the time and complexity of design-development using the algorithm and software tools have been created.

Range of applications: mechanical engineering, shipbuilding, aircraft, power engineering, construction

