ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՃԱՐՏԱՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՇԻՆԱՐԱՐՈՒԹՅԱՆ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՀՐԱՉՅԱ ՂԱՀՐԱՄԱՆԻ ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ՀԻԴՐՈՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ, ՃՆՇՈՒՄԱՅԻՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԵՐԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ԿԱՏԱՐԵԼԱԳՈՐԾՈՒՄ

Ե.23.02– <<Քաղաքացիական, արդյունաբերական, հիդրոտեխնիկական, տրանսպորտային և ստորգետնյա շինարարություն>>
մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬСТВА АРМЕНИИ

АРУТЮНЯН ГРАЧЬЯ КАГРАМАНОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.02 - «Гражданское, промышленное, гидротехническое, транспортное и подземное строительство»

ЕРЕВАН 2016

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝ տեխնիկական գիտությունների դոկտոր **Ա.Ա. Սարուխանյան**

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ տեխնիկական գիտությունների դոկտոր **Է.Հ.Խաչատրյան**

տեխնիկական գիտությունների դոկտոր **Ն.Մ.Սարգսյան**

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ մեխանիկայի ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2017թ փետրվարի 3-ին ժամը 14^{00}-ին Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանին կից գործող ՀՀ ԲՈՀ-ի 030 ''Ճարտարապետություն և շինարարություն'' մասնագիտական խորհրդում:
Հասցեն՝ 0009, ք. Երևան, Տերյան 105:
Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՃՇՀԱՀ-ի գիտական գրադարանում:
Հասցեն՝ 0079, ք. Երևան, Մարի փող. 17/1:
Սեղմագրին կարելի է ծանոթանալ Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանի պաշտոնական կայքում՝ www.nuaca.am:
Սեղմագիրն առաքված է 2016թ. դեկտեմբերի 29-ին:
Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար՝
ճարտարապետության թեկնածու, դոցենտ **Ս.Ա. Թովմասյան**

Тема диссертации утверждена в Национальном университете архитектуры и строительства Армении

Научный руководитель: доктор технических наук **А.А. Саруханян**

Официальные оппоненты: доктор технических наук **Э.А. Хачатрян**

доктор технических наук **Н.М.Саркисян**

Ведущая организация: Институт механики НАН РА

Защита состоится 3-го февраля 2017г. в 14^{00} часов на заседании специализированного совета 030 “Архитектура и строительство” ВАК РА, действующего при Национальном университете архитектуры и строительства Армении.
Адрес: 0009, г. Ереван, ул. Теряна 105.
С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке НУАСА.
Адрес: 0079, г. Ереван, ул. Марра 17/1.
С авторефератом можно ознакомиться на официальном сайте Национального университета архитектуры и строительства Армении. www.nuaca.am
Автореферат разослан 29-го декабря 2016г.
Ученый секретарь специализированного совета:

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

<u>Թեմայի արդիականությունը:</u> Խողովակաշարային տրանսպորտը հանդիսանում է ամենաէժան և տարածված տրանսպորտային միջոցը, որով տեղափոխվում են ամենաբազմազան բաղադրության հեղուկ և կոշտ նյութեր: Ճնշումային խողովակաշարերը կարող են լինել այս կամ այն արտադրական գործընթացների բաղկացուցիչ մասեր, գազատարեր, նավթատարեր, ջրատարեր և այլ բաղադրության նյութերի տեղափոխման մայրուղիներ:

Որպես կանոն խողովակաշարային մայրուղիները լինում են ճնշումային ռեժիմի, որոնց երկարամյա հուսալի շահագործման համար կատարվել են մեծածավալ հետազոտություններ, մշակվել են դրանց նախագծման և շահագործման նորմատիվային փաստաթղթեր: Չնայած այս բնագավառում նախագծման, շինարարության և շահագործման ուղղությամբ կուտակված փորձին ու մշակումներին, հաճախակի տեղի են ունենում ճնշումային խողովակաշարերի վթարներ, պատճառելով զգալի նյութական և էկոլոգիական վնասներ, որոնք առանձին դեպքերում համադրելի են դառնում բնական աղետների հետևանքների հետ: Ուստի ճնշումային խողովակաշարերի ամրության և կայունության հաշվարկային մեթոդների կատարելագործումը հանդիսանում է գործնական կարևոր նշանակություն ունեցող խնդիր: ՀՀ-ում ճնշումային խողովակաշարերից կիրառելի են ջրատարները, գազատարները և արտադրական տարատեսակ գործընթացներում կիրառվող խողովակները: Այս խողովակաշարերից առավել մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում ճնշումային ջրատարները: Վերջին ժամանակներում լայն կիրառություն են ստացել բարձր ճնշման ինքնահոս ջրատարները և փոքր ՀԷԿ-երի տուրբինային խողովակաշարերը: Դրանց շահագործման փորձը ցույց է տալիս, որ առանձին տեղամասերում առաջանում են անթույլատրելի տատանումներ, որոնք վթարների պատճառ կարող են դառնալ: Ուստի խողովակաշարերի առանձին տեղամասերի սեփական տատանումների հետազոտությունը, տարատեսակ եզրային պայմանների դեպքում, կարևոր գործնական նշանակություն ունեցող խնդիր է:

Բացի դիտարկված խնդիրներից, կարևոր են նաև ճնշումային խողովակաշարերի ամրությունը և կայունությունը ապահովող ինժեներական կառույցների՝ հենարանների հաշվարկային մեթոդների կատարելագործումները, հատուկ բեռնավորման պայմաններում: Այս տեսանկյունից նույնպես առաջադրված թեման արդիական է և միտված է լուծելու կարևոր կիրառական խնդիրներ:

<u>Ատենախոսության նպատակը և խնդիրները:</u> Ատենախոսության նպատակն է հետազոտել ճնշումային խողովակաշարերի տեղամասի սեփական տատանումները՝ լայնական հատույթի պտտման իներցիայի և սահքի դեֆորմացիաների հաշվառմամբ, մշակել դրանց անվտանգ շահագործման տեխնիկական պայմանները՝ հաշվի առնելով խողովակաշարի և խարսխային հենարանների վրա ազդող հատուկ բեռերը:

Ելնելով ատենախոսության նպատակից, առաջադրվել են ուսումնասիրման ենթակա հետևյալ խնդիրները՝

- հետազոտել ճնշումային խողովակաշարերի սեփական

տատանումները լայնական սահքի ազդեցության պայմաններում,

- հետազոտել ճնշումային խողովակաշարի տեղամասի սեփական տատանումները սահքի դեֆորմացիայի և պտտման իներցիայի հաշվառմամբ,
- հետազոտել հեղուկատար խողովակաշարի ուղղագիծ տեղամասի սեփական տատանումները եզրային տարբեր ամրացումների դեպքում,
- հետազոտել մեկ ծայրով ամրակցված մյուս ծայրով ազատ հենված հեղուկատար խողովակաշարի ուղղագիծ տեղամասի սեփական տատանումները,
- մշակել վտանգավոր տեղամասում խողովակաշարի սեփական տատանումների մեղմացման ինժեներական միջոցառումներ,
- սեյսմիկ ուժերի բեռնավորման պայմաններում ստանալ կայունության ապահով-ման չափանիշային հայտանիշ,
- մշակել խարսխային հենարանների ամրության և կայունության բարձրացման ընդհանրացված ինժեներական միջոցառումներ:

<u>Հետազոտման մեթոդները:</u> Հետազոտությունները կատարվել են հոծ միջավայրի մեխանիկայի, սնամեջ առաձգական ձողերի ու բարակապատ թաղանթների ամրության և կայունության հաշվարկային մեթոդներով:

<u>Ատենախոսության գիտական նորույթն է՝</u>

- ճնշումային խողովակաշարերի տեղամասի սեփական տատանումները սահքի դեֆորմացիայի և պտտման իներցիայի հաշվառմամբ իրականացված հետազոտությունների արդյունքում ստացված հաշվարկային բանաձևերը,
- սահքի դեֆորմացիայի և պտտման իներցիայի հաշվառմամբ, մեկ ծայրով ամրակցված մյուս ծայրով ազատ հենված հեղուկատար խողովակաշարի սեփական տատանումների հետազոտությունների արդյունքները,
- խողովակաշարի վտանգավոր տեղամասերում սեփական տատանումների մեղմացման ինժեներական միջոցառումների մշակումները,
- հատուկ բեռնավորման պայմաններում խարսխային հենարանների կայունության ապահովման չափանիշային հայտանիշի բացահայտումը,
- խարսխային հենարանների ամրության և կայունության բարձրացման ինժեներական միջոցառումների մշակումները՝ հատուկ բեռնավորման պայմաններում:

<u>Աշխատանքի գործնական կիրառությունը</u>՝ կատարված հետազոտությունների արդյունքները հնարավորություն են տալիս բացահայտել ճնշումային խողովակաշարերի կայունության խախտման ռիսկային տեղամասերը և ստանալ պայմաններ, ռիսկերը մեղմելու նպատակով ինժեներական միջոցառումներ իրականացնելու համար:

Ճնշումային խողովակի սեփական տատանումների մեղմացման նպատակով առաջարկված ինժեներական միջոցառումը կարող է կիրառվել լեռնային պայման-ներում կառուցվող ինքնահոս ջրատարերի վտանգավոր տեղամասերի ռիսկային պայմանները

մեղմելու նպատակով:

Խարսխային հենարանների կայունության չափանիշի առաջարկված հայտանիշը կարող է կիրառվել հատուկ բեռնավորման պայմաններում հենարանի չափերի որոշման դեպքում, որը կապահովի դրանց հուսալի ու երկարամյա աշխատանքը:

Պաշտպանության են ներկայացվում՝ սահքի հաշվառման պայմաններում ճնշումային խողովակաշարերի սեփական տատանումների ուսումնասիրությունների արդյունքները, ճնշումային խողովակաշարերի տեղամասի սեփական տատանումները սահքի դեֆորմացիայի և պտտման իներցիայի հաշվառմամբ իրականացված հետազոտությունների արդյունքները, սահքի դեֆորմացիայի և պտտման իներցիայի հաշվառմամբ, մեկ ծայրով ամրակցված մյուս ծայրով ազատ հենված հեղուկատար խողովակաշարի սեփական տատանումների հետազոտությունները, խողովակաշարի վտանգավոր տեղամասերում սեփական տատանումների մեղմացման նպատակով ինժեներական միջոցառումների մշակումները, հատուկ բեռնավորման պայմաններում խարսխային հենարանների կայունության ապահովման չափանիշային հայտանիշի սահմանումը, հատուկ բեռնավորման պայմաններում խարսխային հենարանների ամրության և կայունության բարձրացման ինժեներական միջոցառումների մշակումները, հատուկ բեռնավորման պայմաններում հեղուկատար խողովակում լրացուցիչ ճնշման հաշվառման մեթոդաբանությունը, ճնշումային խողովակի թրթռացման երևույթների առաջացման պատճառների վերլուծությունները և դրանց կանխարգելման նպատակով իրականացված ինժեներական մշակումները, սեյսմիկ շրջաններում ճնշումային խողովակների շահագործման առանձնահատկությունները:

Հետազոտման արդյունքների հավաստիությունը՝ հետազոտությունները կատարվել են տվյալ բնագավառում կիրառվող հայտնի մեթոդներով և հավասարումներով, կատարվել են համակարգչային փորձարարական հետազոտություններ, ստացված արդյունքները համեմատվել են գոյություն ունեցող լուծումների արդյունքների հետ, որոնք փաստում են կատարված հետազոտությունների հավաստիությունը:

Հրապարակումները: Ատենախոսության հիմնական դրույթները և հետազոտությունների արդյունքները հրապարակված են 8 գիտական հոդվածներում, որոնցից 3-ը առանց համահեղինակության: Հետազոտման արդյունքները զեկուցվել են Լեհաստանի Չեստովիցա քաղաքում 2012 թվականի սեպտեմբերին տեղի ունեցած և 2013 թվականին Չինաստանի մայրաքաղաքում տեղի ունեցած միջազգային կոնֆերանսներում:

Ատենախոսության կազմը և ծավալը՝ ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 3 գլխից, եզրակացություններից և առաջարկություններից, օգտագործված գրականությունից, շարադրված 103 էջ համակարգչային շարվածքով, ներառում է 29 նկար, 4 աղյուսակ:

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՌՈՏ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ներածությունում հիմնավորված է ատենախոսության թեմայի այժմեական-ությունը, շարադրված են աշխատանքի հիմնական

նպատակն ու ուսումնասիրության ենթակա խնդիրները, հետազոտման մեթոդը, գիտական նորույթը, արդյունքների հավաստիությունը, աշխատանքի կիրառման նշանակությունը, պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները, հետազոտության բնագավառն ու առարկան, նախափորձաքննությունը:

Առաջին գլխում բերված են ճնշումային խողովակաշարերի ամրության և կայունության հաշվարկային մեթոդների վերլուծություններ, բացահայտված են տվյալ բնագավառում առկա ուսումնասիրության ենթակա խնդիրները, սահմանված է աշխատանքի նպատակը:

Ճնշումային խողովակաշարերը, հանդիսանալով կարևոր տրանսպորտային միջոցներ մշտապես գտնվել են հետազոտողների, շինարարների և շահագործող կազմակերպությունների սևեռուն ուշադրության կենտրոնում, նպատակ ունենալով կատարելագործել և մշակել դրանց շինարարության և շահագործման տեխնիկական պայմաններ, որոնց անվերապահորեն պահպանման դեպքում կապահովվեն այդ հույժ կարևոր կառույցների երկարամյա անվտանգ շահագործումը: Դա է պատճառը, որ ճնշումային խողովակների նախագծման, շինարարության և շահագործման վերաբերյալ կատարվել են բազմաթիվ ու բազմաբնույթ հետազոտություններ, մշակվել են տարատեսակ հրահանգչական և մեթոդական ձեռնարկներ, նորմատիվային և կանոնակարգային փաստաթղթեր, որոնցում տարբեր երկրաբանական, կլիմայական, սեյսմիկ վտանգավորության և այլ պայմանների համար բերված են նորմատիվային պահանջներ, որոնց անվերապահորեն պահպանման դեպքում կերաշխավորվի դրանց երկարամյա անխափան աշխատանքը:

Ճնշումային խողովակաշարը մշտապես գտնվում է ներսի և դրսի ստատիկ ու դինամիկ ուժերի ազդեցությունների տակ, որոնք հաճախ լինում են անկանխատեսելի և ոչ պարբերական բնույթի: Ուստի այս կառուցվածքները, կախված դրանց կարևորությունից, պետք է ունենան ամրության և կայունության այնպիսի պաշար, որ դիմակայեն ազդող ուժերին: Խողովակաշարի ամրության հաշվարկի պարզագույն եղանակի հիմքում դրված է չընդհատվող հեծանի ծռման և թաղանթի վրա ազդող ուժերի պայմաններում գտնվող տարրի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի բացահայտումը և դրա ամրության ապահովման պահանջը: Հաշվարկի համար նախապես որոշում են խողովակաշար-հեծան համակարգի վրա ազդող ուժերը. դրանք են՝ ներքին ճնշման ուժը, առանցքային ուժը և խողովակի ու դրանում պարփակված հեղուկի զանգվածներից առաջացող ծանրության ուժերը: Այս ուժերի ազդեցության տակ խողովակի թաղանթը ենթարկվում է բարդ լարվածա-դեֆորմացիոն ազդեցությունների՝ ծռման, ճնշման, ձգման կամ սեղման դեֆորմացիաների:

Ճնշումային խողովակաշարի աշխատանքի հուսալիությունը կախված է դրա ամրության և կայունության ճիշտ հաշվարկից, որը պայմանավորված է դրա վրա ազդող բոլոր ուժերի հաշվառումից: Խնդիրն այն է, որ խողովակով շարժվող հեղուկը էապես ազդում է դրադինամիկ բնութագրերի վրա, որն անվերապահորեն պետք է հաշվի առնել: Շարժվող հեղուկը փոխում է խողովակաշարի տատանման սպեկտրը, որը կարող է բերել անցանկալի ռեզոնանսային տատանումների: Հեղուկի պուլսացիոն արագությունները առաջացնում են խողովակաշարի պարամետրական տատանումներ, որոնք որոշակի դեպքերում կարող են վերջիններիս անկայուն

վիճակի առաջացման պատճառ հանդիսանալ: Այս երևույթները առավելապես նկատելի են դառնում խողովակաշարով տեղափոխվող պուլսացիոն հոսքերի պայմաններում, որոնք ուղեկցվում են բարձր ճնշումներով և հաճախականությամբ: Նմանատիպ երևույթները առավել վտանգավոր են խողովակաշարի կորացումների և բեկման տեղամասերում, որտեղ առկա են պուլսացիոն հոսքերի լրացուցիչ անդումների գոյությամբ և դրանց անխուսափելի ազդեցության հետևանքների առկայությամբ:

Մեխանիկական տատանումները անխուսափելի երևույթներ են, որոնք առաջանում են կառուցվածքների առանձին տարրերում կամ կառուցվածքում ամբողջությամբ: Մեխանիկական տատանումների ուսումնասիրությունները սկսվել են դեռևս 18-րդ դարի կեսերին, որոնք արտահայտված են Լ. Էյլերը և Ժ. Դալամբերի հետազոտություններում: Այդ աշխատանքներում սահմանվել են պինդ մարմինների տատանման օրինաչափությունները, հիմք ընդունելով Դալամբերի հայտնի սկզբունքները: Այնուհետև տատանումների գծային տեսությունը մշակվեց Լանգրանժի կողմից, որը շարժման դիֆերենցիալ հավասարումները ներկայացրեց ընդհանրացված կորդինատներով: Մեխանիկական տատանումների տեսության հետագա զարգացումը կատարվել է Ա.Ն.Կռիլովի, Ս.Պ.Տիմոշենկոյի, Լ.Ի. Մանդելշտամի, և այլ նշանավոր հետազոտողների կողմից:

Խողովակաշարերի տեղամասերի սեփական տատանումների հաճախություն–ների որոշման համար մշակված են բազմաթիվ հրահանգներ և նորմատիվային փաստաթղթեր, որոնցում տարբեր եզրային պայմանների համար ընդհանրացված են հաշվարկային բանաձևերը, բերված են աղյուսակներ և գրաֆիկներ, որոնք դյուրին են դարձնում ինժեներական հաշվարկները: Հարկ է նշել, որ մշակված նորմատիվային հրահանգների հիմքում ընկած է ուղիղ խողովակի սեփական տատանումները բնութագրող 4-րդ աստիճանի սովորական դիֆերենցիալ հավասարման լուծումները, եզրերում առկա տարատեսակ սահմանային պայմանների դեպքում: Հեծանների (խողովակների) սեփական ծռման տատանումների օրինաչափությունները բնութագրող դիֆերենցիալ հավասարումը ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{d^4y(x)}{dx^4} - I^4 y(x) = 0, \quad I^4 = \frac{\omega^2(m_1 + m_2)}{ET},$$

որտեղ $y(x)$- խողովակի առաձգական գիծը նկարագրող ֆունկցիան է, m_1 և m_2-համապատասխանաբար խողովակի և հեղուկի տեսակարար զանգվածներն են, ET- խողովակի ծռման կոշտությունն է, ω- խողովակի լայնական տատանումների սեփական հաճախականությունը:

Ճնշումային խողովակների ամրության և կայունության ապահովման համար նախատեսվում են հենարանային կառույցներ: Դրանց հաշվարկային մեթոդների կատարելագործումը հատուկ բեռնավորման պայմաններում հանդիսանում է կարևոր կիրառական խնդիր, որի ընդհանրական լուծումով պայմաններ կստեղծվեն դրանց նախագծման և շահագործման տեխնիկական պայմաններ մշակելու համար:

Խողովակակաշարի թրթռացման երևույթների վերլուծությունները և դրանց դեմ պայքարի ինժեներական

միջոցառումների մշակումները կարևոր կիրառական նշանակություն ունենալուց բացի ներկայացնում են տեսական հետաքրքրություն, որոնց արդյունքներով հնարավոր կլինի կատարել ճիշտեզրակացություններ:

Երկրորդ գլխում դիտարկված են ճնշումային խողովակի տեղամասի սեփական տատանումների հաշվարկի մի քանի խնդիրներ, որոնցում հաշվի են առնված եր-կայնական սահքի դեֆորմացիաները: Սովորաբար խողովակաշարի տատանումների սպեկտրն ունենում է բարդ կառուցվածք, պայմանավորված սեփական, հարկադրական, պարամետրական և այլ տիպի տատանումներից: Սեփական տատանումների սպեկտրը նույնպես տարաբնույթ է: Այն կախված է համակարգի տարբեր պարամետրերից, եզրային կինեմատիկական պայմաններից, հոսող հեղուկի ծավալից և արագությունից: Այսպիսի պայմաններում մեծանում է ռեզոնանսային երևույթների հավանականությունը: Ուստի անհրաժեշտություն է առաջանում բացահայտելու այնպիսի աշխատանքային ռեժիմներ, որոնց պարագայում բացառվեն անվերահսկելի տատանումները:

Մեխանիկական համակարգերի դինամիկական կայունության վերաբերյալ կատարված հետազոտությունները լայն կիրառություն են ստացել հիդրոտեխնիկական կառուցվածքներում, շինարարական մեխանիկայում, ռադիոտեխնիկայում, մեքենաշի–նության և այլ բնագավառներում: Հայտնի է, որ բարձր կարգի տատանումների դեպքում լայնական ուժերից առաջացող սահքի դեֆորմացիաները էական ազդեցություն են ունենում տատանման հաճախականության վրա: Մասնավորապես, հաստատուն հատույթով հեծանի լայնական տատանումները նկարագրվում են հետևյալ հավասարումների համակարգով՝

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\partial^2\eta}{\partial x^2}-\frac{k\rho}{G}\cdot\frac{\partial^2\eta}{\partial t^2}=\frac{\partial\theta}{\partial x}\\ &\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}-\frac{\rho}{E}\cdot\frac{\partial^2\theta}{\partial t^2}=-\frac{GF}{kEI}\left(\frac{\partial\eta}{\partial x}-\theta\right)\end{aligned}\right\}, \qquad (1)$$

որտեղ $\eta(x,t)$- հեծանի ճկվածքն է; $\theta(x,t)$- լայնական հատույթի հարթության միջին պտույտը; ρ- հեծանի նյութի խտությունը; E,G- առաձգականության և սահքի մոդուլները; F, I- լայնական հատույթի մակերեսը և իներցիայի մոմենտը; k- հատույթի ձևը բնութագրող գործակից է: Ներքին ուժային գործոնների որոշման համար ստացվել են հետևյալ առնչությունները՝

$$M=EI\frac{\partial\theta}{\partial x}\ , \qquad (2)$$

$$Q=-\frac{GF}{k}\left(\frac{\partial\eta}{\partial x}-\theta\right)\ : \qquad (3)$$

Խողովակաշարով w- հաստատուն արագությամբ հոսող հեղուկի պարագայում շարժման դիֆերենցիալ հավասարումները (1) կձևափոխվեն հետևյալ տեսքի՝

$$\left(\beta^2-\gamma^2\right)\frac{d^2\overline{\eta}}{d\xi^2}+2\beta\psi\left(\varepsilon+i\omega\right)\left(\frac{d\overline{\eta}}{d\xi}-\overline{\theta}\right)+\gamma^2\frac{d\overline{\theta}}{d\xi}+\left(\varepsilon+i\omega\right)^2\overline{\eta}=0, \qquad (4)$$

$$\frac{d^2\bar{\theta}}{d\xi^2}+\gamma^2\left(\frac{d\bar{\eta}}{d\xi}-\bar{\theta}\right)+\frac{\psi^2}{\lambda^2}(\varepsilon+i\omega)^2\bar{\theta}=0, \tag{5}$$

որտեղ $\beta=w\sqrt{\frac{m_2\ell^2}{EI}}$, $\gamma=\sqrt{\frac{GF\ell^2}{kEI}}$, $\psi=\sqrt{\frac{m_2}{m_1+m_2}}$, $\lambda=\frac{1}{\sqrt{I/F}}$,

$$\eta(x,t)=\bar{\eta}(\xi)\ell e^{(\varepsilon+i\omega)At},\quad \theta(x,t)=\bar{\theta}(\xi)e^{(\varepsilon+i\omega)At},\quad x=\ell\xi: \tag{6}$$

Ստացված դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգը, կոնկրետ եզրային պայմանների համար, կարելի է ինտեգրել մոտավոր մեթոդների կիրառմամբ:

Ուսումնասիրվել է եզրերով ազատ հենված խողովակի սեփական տատանումները: Պարզության համար ընդունենք, որ այս դեպքում տեղի են ունենում հարմոնիկ տատանումներ $(\varepsilon=0)$, իսկ (4,5) հավասարումների լուծումները ներկայացնենք հետևյալ տեսքով.

$$\bar{\eta}=\alpha\sin\pi n\xi,\quad \bar{\theta}=b\cos\pi n\xi,\qquad (0\le\xi\le1), \tag{7}$$

որոնք բավարարում են խնդրի եզրային պայմաններին՝

երբ $\xi=0,\ \xi=1,$ ապա $\bar{\eta}=0$ և $\frac{d\bar{\theta}}{d\xi}=0$:

Կիրառելով Գալյորկինի մեթոդը ստացվել է տատանման n-րդ ձևին համապատասխանող անչափհաճախականությունը.

$$\omega_n=\pi n\sqrt{\pi^2n^2-\frac{m_2\lambda_1^2}{EF_1}w^2}: \tag{8}$$

Հեղուկի հոսքի կրիտիկական արագությունը, որի դեպքում տեղի է ունենում կայունության կորուստ, կորոշվի՝

$$w_{kn}=\frac{\pi n}{\lambda_1}\sqrt{\frac{EF_1}{m_2}} \tag{9}$$

բանաձևով, որը համապատասխանում է տատանման n-րդ հարմոնիկին: Անչափհաճախականությունների որոշման համար ստացվել է հետևյալ հավասարումը.

$$\frac{1-\psi^2}{\lambda_1^2}\omega^4-\left\{n^2\pi^2\left[1+\left(\frac{1-\psi^2}{\lambda_1^2}-\frac{\psi^2}{\lambda_1^2}\right)\gamma^2-\frac{1-\psi^2}{\lambda_1^2}\beta^2\right]+\gamma^2\right\}\omega^2+\pi^2n^2\left[\pi^2n^2\gamma^2-\left(\pi^2n^2+\gamma^2\right)\beta^2\right]=0, \tag{10}$$

որտեղից հեղուկի հոսքի արագության կրիտիկական արժեքի համար կունենանք այսպիսի առնչություն՝

$$w_{kn}^*=\frac{\pi n}{\lambda_1}\sqrt{\frac{EF_1}{m_2\left[1+\frac{\pi^2n^2}{\lambda_1^2}2(1+\mu)k\right]}}: \tag{11}$$

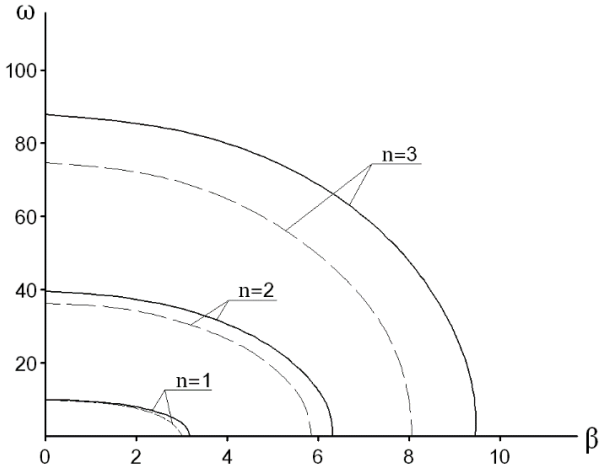
Կրիտիկական արագությունների համար ստացված (9) և (11) առնչությունների համեմատությունից պարզվում է, որ սահքի դեֆորմացիայի և պտտման իներցիայի հաշվառման դեպքում կայունության կորուստը տեղի է ունենում ավելի փոքր արագությունների դեպքում: Այդ համեմատությունը բերված է աղ.1-ում, որտեղից հետևում է, որ նշված տարբերությունը ավելի նկատելի է ինչպես փոքր ճկունությունների համար, այնպես էլ բարձր կարգի տատանումների դեպքում:

Աղյուսակ 1

w_{kn}^*/w_{kn} *կրիտիկական արագությունների*

հարաբերությունը

n	λ_1=20	λ_1=30	λ_1=40	λ_1=100
1	0.941471	0.973263	0.984374	0.997446
2	0.813035	0.904325	0.941554	0.989901
3	0.681392	0.816151	0.881134	0.977697
4	0.572486	0.727172	0.81325	0.961346
5	0.48766	0.646519	0.745356	0.941481



Նկ.1. Տատանումների հաճախականության փոփոխման գրաֆիկները $(\lambda_1 = 35, \lambda_2 = \sqrt{2}\lambda_1, \psi = 0.7)$

Դասական տեսությամբ,

Սահքի և պտտման իներցիայի հաշվառմամբ:

Նկ.1-ում բերված են տատանումների անչափ հաճախականությունների փոփոխման գրաֆիկները, հեղուկի հոսքի անչափ արագության պարամետրից կախված, տարբեր հարմոնիկների համար: Այստեղ նույնպես տարբերությունը մեծանում է բարձր կարգի տատանումների դեպքում:

Ուսումնասիրվել է խողովակաշարի ուղղագիծ տեղամասի սեփական տատանումները լայնական սահքի և պտտման իներցիայի հաշվառման պայմաններում, որոնք հատկապես բարձր կարգի տատանումների դեպքում, էական ազդեցություն են ունենում տատանման բնութագրերի վրա: Այս պայմաններում շարժման դիֆերենցիալ հավասարումները՝ (4), (5), ստանում են հետևյալ տեսքը՝

$$\left.\begin{aligned} &[\beta^2 - \gamma^2(1+\frac{kS}{GF_1})]\frac{d^2\overline{\eta}}{d\xi^2} + 2\beta\psi(\varepsilon + i\omega)\frac{d\overline{\eta}}{d\xi} + (\varepsilon + i\omega)^2\overline{\eta} + \gamma^2\frac{d\overline{\theta}}{d\xi} = 0 \\ &\frac{d^2\overline{\theta}}{d\xi^2} + \gamma^2(1+\frac{kS}{GF_1})(\frac{d\overline{\eta}}{d\xi} - \overline{\theta}) - \frac{1-\psi^2}{\lambda_1^2}(\varepsilon + i\omega)^2\overline{\theta} + \frac{\psi^2}{\lambda_2^2}(\varepsilon + i\omega)^2\frac{d\overline{\eta}}{d\xi} = 0 \end{aligned}\right\}, \qquad (12)$$

որտեղ նշանակված են՝ μ-Պուասոնի գործակիցը,

$$\beta = w\sqrt{\frac{m_2\lambda_1^2}{EF_1}}, \psi = \sqrt{\frac{m_2}{m_1 + m_2}}, \gamma = \sqrt{\frac{\lambda_1^2}{2(1+\mu)k}}, \lambda_1 = \ell / \sqrt{I_1 / F_1}:$$

Եզրերով ազատ հենված խողովակի համար (12) հավասարումը լուծվել է Գալիորկինի մեթոդով և տատանման n-րդ ձևին համապատասխան անչափ հաճախականության համար ստացվել է

հետևյալ բանաձևը՝

$$\omega_n = \pi n\sqrt{\pi^2 n^2 (1+\frac{S}{S_Э n^2}) - \beta^2}\ , \qquad (13)$$

որտեղ $S_Э = \frac{\pi^2 EI_1}{\ell^2}$-էյլերյան ուժն է:

Հեղուկի հոսքի կրիտիկական արագությունը, որի դեպքում տեղի է ունենում կայունության կորուստ, կորոշվի հետևյալ բանաձևով՝

$$w_{kn} = \frac{\pi n}{\lambda_1}\sqrt{\frac{EF_1}{m_2}}\sqrt{1+\frac{S}{S_Э n^2}}\ : \qquad (14)$$

Անչափ հաճախությունների որոշման համար ստացվել է հետևյալ հավասարումը.

$$\frac{1-\psi^2}{\lambda_1^2}\omega^4 - \left\{\pi^2 n^2\left[1+\left(\frac{1-\psi^2}{\lambda_1^2}\left(1+\frac{S}{S_Э\gamma^2}\right)+\frac{\psi^2}{\lambda_2^2}\right)\gamma^2 - \frac{1-\psi^2}{\lambda_1^2}\beta^2\right]+\left(\gamma^2+\frac{S}{S_Э}\right)\right\}\omega^2 -$$
$$-\pi^2 n^2\left[\left(\pi^2 n^2+\gamma^2+\frac{S}{S_Э}\right)\beta^2 - \pi^2 n^2\left(\gamma^2+\frac{S}{S_Э}\right) - \gamma^2\frac{S}{S_Э}\right] = 0 \ : \qquad (15)$$

Ստացված հավասարման ազատանդամի զրոլինելու պայմանից որոշվել է հեղուկի հոսքի կրիտիկական արագությունը՝

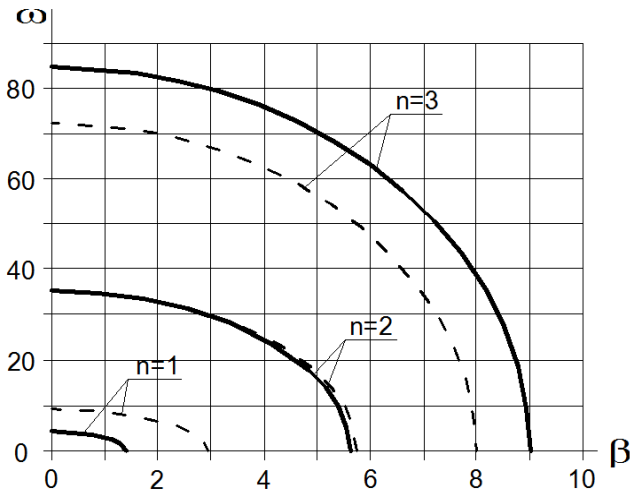
$$w_{kn}^* = \frac{\pi n}{\lambda_1}\sqrt{\frac{EF_1}{m_2}}\sqrt{\frac{1+\left[\frac{1}{\gamma^2}+\frac{1}{n^2\pi^2}\right]\frac{S}{S_Э}}{1+\frac{\pi^2 n^2}{\gamma^2}+\frac{S}{\gamma^2 S_Э}}}\ : \qquad (16)$$

Կրիտիկական արագությունների ստացված (14) և (16) բանաձևերի համեմատությունից պարզվում է, որ սահքի դեֆորմացիայի և պտտման իներցիայի հաշվառման դեպքում կայունության կորուստը տեղի է ունենում ավելի փոքր արագությունների դեպքում: Այդ համեմատությունը բերված է աղ.2-ում և նկ.2-ում:

Աղյուսակ 2

Կրիտիկական արագությունների w_{kn}^*/w_{kn} հարաբերությունը

$\lambda_1 = 35$			
n	$S/S_Э$=-0.8	$S/S_Э$=0	$S/S_Э$=1
1	2.09954	0.97969	0.72692
2	1.20388	0.92546	0.83839
3	0.88833	0.85217	0.81345
4	0.79132	0.77375	0.75368
5	0.70860	0.69888	0.68746



Նկ. 2. Տատանումների հաճախականությունների փոփոխման գրաֆիկները

$$(\lambda_1 = 35, \lambda_2 = \sqrt{2}\lambda_1, \psi = 0.7, S/S_Э = -0.8)$$

Դասական տեսությամբ,

Սահքի և պտտման իներցիայի հաշվառմամբ:

Եզրերով ամրակցված խողովակի համար (12) հավասարումը լուծվել է Գալիորկինի մեթոդով և տատանման n-րդ ձևին համապատասխան անչափ հաճախականության համար ստացվել է հետևյալ բանաձևը՝

$$\omega_n = \frac{2}{\sqrt{3}}\pi n\sqrt{4\pi^2 n^2\left(1+\frac{S}{S_Э n^2}\right)-\beta^2}\ : \qquad (17)$$

Հեղուկի հոսքի կրիտիկական արագությունների համար ստացվել են հետևյալ բանաձևերը՝

$$w_{kn} = \frac{2\pi n}{\lambda_1}\sqrt{\frac{EF_1}{m_2}}\sqrt{1+\frac{S}{S_Э n^2}}, \qquad (18)$$

$$w_n^* = \frac{2\pi n}{\lambda_1}\sqrt{\frac{EF_1}{m_2}}\sqrt{\frac{\left(1+\frac{S}{S_Э n^2}\right)+\frac{4\pi^2}{\lambda_1^2}2(1+\mu)k\frac{S}{S_Э}}{1+4\pi^2 n^2\frac{2(1+\mu)k}{\lambda_1^2}\left(1+\frac{S}{S_Э n^2}\right)}}\ : \qquad (19)$$

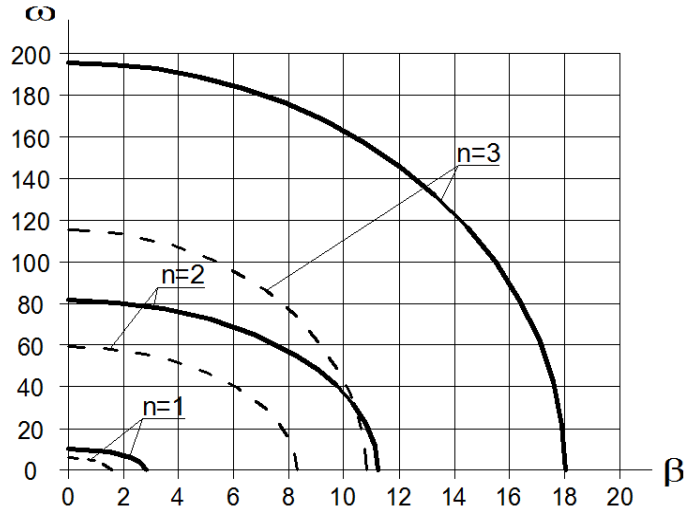
Կատարված են այս բանաձևերի արդյունքների համեմատություններ որոնք բերված են աղ.3-ում և նկ.3-ում

Աղյուսակ 3

Կրիտիկական արագությունների w_{kn}^*/w_{kn} հարաբերությունը

$\lambda_1 = 35$			
n	$S/S_Э$=-0.8	$S/S_Э$=0	$S/S_Э$=1
1	0.56478	0.92546	0.90096
2	0.73610	0.77375	0.78552
3	0.59935	0.63142	0.65581

4	0.49206	0.52119	0.54845
5	0.41281	0.43897	0.46556



Նկ.3. Տատանումների հաճախականությունների փոփոխման գրաֆիկները

$(\lambda_1 = 35, \lambda_2 = \sqrt{2}\lambda_1, \psi = 0.7, S/S_Э = -0.8)$

——— *Դասական տեսությամբ,*

------ *Սահքի և պտտման իներցիայի հաշվառմամբ:*

Ուսումնասիրվել է խողովակաշարի ուղղագիծ տեղամասի սեփական տատանումները եզրերից մեկն ամրակցված իսկ մյուսը՝ ազատ հենված դեպքում: Այս դեպքում (12) հավասարումների համակարգի լուծումները փնտրվել են հետևյալ շարքերի տեսքով՝

$$\bar{\eta} = b_0 \cdot \phi_0(\xi) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \cdot \phi_k(\xi), \quad \bar{\theta} = c_0 \cdot T_0(\xi) + \sum_{k=1}^{\infty} c_k \cdot T_k(\xi) \tag{20}$$

Կիրառելով Գալյորկինի մեթոդը, որոշվել է տատանումների յուրաքանչյուր ձևին համապատասխանող հաճախությունը: Դիտարկվող դեպքի համար խնդրի եզրային պայմանները, որոնք համապատասխանում են (12) տեսքով ներկայացված լուծմանը, կունեն հետևյալ տեսքը.

$$\psi_0\big|_{\xi=0} = \psi_0\big|_{\xi=1} = \frac{\partial \psi_0}{\partial \xi}\Big|_{\xi=0} = 0, \quad \frac{\partial^2 \psi_0}{\partial \xi^2}\Big|_{\xi=1} = 0: \tag{21}$$

Երբ $\xi = 0$ և $\xi = 1$՝

$$\psi_k = \frac{\partial \psi_k}{\partial \xi} = \frac{\partial^2 \psi_k}{\partial \xi^2} = 0: \tag{22}$$

Մոտարկման ֆունկցիաները, որոնք բավարարում են նշված պայմանները կլինեն՝

$$\begin{aligned} \psi_0(\xi) &= 2\xi^4 - 5\xi^3 + 3\xi^2, \\ \psi_k(\xi) &= \xi^k(\xi^5 - 3\xi^4 + 3\xi^3 - \xi^2), \end{aligned} \tag{23}$$

իսկ խողովակաշարի լայնական սահքի ու պտտման իներցիայի հաշվառման պայմաններում տատանումները նկարագրող (12)

դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգին համապատասխանող եզրային պայմանները կլինեն.

$$\phi_0(\xi)\big|_{\xi=0} = \phi_0(\xi)\big|_{\xi=1} = 0, \quad T_0(\xi)\big|_{\xi=0} = 0, \quad \left.\frac{\partial T_0(\xi)}{\partial \xi}\right|_{\xi=1} = 0, \tag{24}$$

$$\begin{gathered} T_k\big|_{\xi=0} = \left.\frac{\partial T_k}{\partial \xi}\right|_{\xi=0} = T_k\big|_{\xi=1} = \left.\frac{\partial T_k}{\partial \xi}\right|_{\xi=1} = 0, \\ \phi_k\big|_{\xi=0} = \left.\frac{\partial \phi_k}{\partial \xi}\right|_{\xi=0} = \phi_k\big|_{\xi=1} = \left.\frac{\partial \phi_k}{\partial \xi}\right|_{\xi=1} = 0: \end{gathered} \tag{25}$$

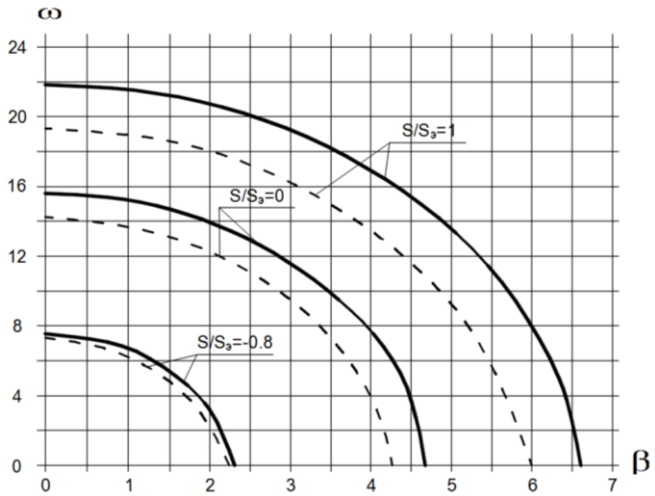
Նշված պայմանները բավարարող մոտարկման բազմանդամները կլինեն.

$$\phi_0(\xi) = \xi^2 - \xi, \quad \phi_k(\xi) = \xi^k(\xi^4 - 2\xi^3 + \xi^2), \tag{26}$$

$$T_0(\xi) = \xi^2 - 2\xi, \quad T_k(\xi) = \xi^k(\xi^4 - 2\xi^3 + \xi^2): \tag{27}$$

Առաջարկված (23), (26) և (27) մոտարկման ֆունկցիաները հնարավորություն են տալիս՝ երկայնական ուժի տարբեր արժեքների դեպքում, կախված հեղուկի հոսքի անչափ արագության β պարամետրից, կառուցելու տատանումների անչափ հաճախությունների փոփոխման գրաֆիկները:

Պահպանելով շարքի ընդամենը առաջին անդամը, նկ.4-ում կառուցվել են տատանումների անչափ հաճախությունների փոփոխման գրաֆիկները:



Նկ.4. Տատանումների հաճախությունների փոփոխման գրաֆիկները

$(\lambda_1 = 35, \lambda_2 = \sqrt{2}\lambda_1, \psi = 0{,}7)$,

——— դասական տեսությամբ,

- - - - սահքի և պտտման իներցիայի հաշվառմամբ:

Ստացված գրաֆիկներից նկատելի է, որ սահքի և պտտման իներցիայի հաշվառման պարագայում խողովակի լայնական տատանումների հաճախություններն ավելի փոքր են դասական եղանակով ստացված արժեքներից:

Երրորդ գլխում դիտարկված են ճնշումային խողովակների շահագործման մի շարք առանձնահատկություններ և հուսալի շահագործման նպատակով ինժեներական միջոցառումների մշակումներ: Ճնշումային խողովակաշարերի հուսալի շահագործման նպատակով նախատեսվում են ինժեներական կառույցներ որոնց նախագծման, շինարարության և շահագործման համար պահանջվում են հատուկ տեխնիկական պայմանների մշակումներ: Դրանցից առավելապես կարևոր են միջանկյալ և խարսխային հենարանները որոնք պետք է ոչ միայն ապահովված լինեն ամրության և կայունության անհրաժեշտ պաշարով այլ նաև ապահովեն նրբանում գրունտի թույլատրելի լարումներ: Առավելապես խնդիրը բարդ է սեյսմիկ բեռնավորման պայմաններում երբ տեղի է ունենում գրունտի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի փոփոխություն: Հոծ միջավայրում սեյսմիկ ազդեցությունների տարածումը դիտարկելով հարթ առաձգական ալիքների բնութագրիչ ֆունկցիաներով՝ $u=\phi(x-ct)$ գրունտի երկայնական և լայնական հարաբերական դիֆերենցիաները կլինեն՝

$$\varepsilon_p=\frac{\partial u_p}{\partial x}=\phi'(x-c_pt),\quad \varepsilon_s=\frac{\partial u_s}{\partial x}=\phi'(x-c_st), \tag{21}$$

որոնց համապատասխան նորմալ և շոշափող լարումները կունենան հետևյալ արժեքները՝ $\sigma=\pm\frac{1}{2\pi}K_c\rho gc_pT, \tau=\pm\frac{1}{2\pi}K_c\rho gc_sT$, որտեղ x-ը առաձգական ալիքի տարածման ճանապարհն է, t-ն ժամանակը, c-ն առաձգական ալիքի տարածման արագությունն է, ϕ-ն հարմոնիկ ֆունկցիա է, որը բնութագրում է տվյալ ալիքային երևույթը: Սեյսմիկ բեռնավորման պայմաններում հաշվի առնելով գրունտում նորմալ լարումների փոփոխման բանաձևը ստանում ենք խարսխային հենարանի հիմքում նորմալ լարումների գումարային արժեքը՝

$$\sigma_{1,2}=\frac{\Sigma Y}{F}\pm\frac{M_o}{W}\pm\frac{1}{2\pi}K_c\rho gc_pT: \tag{22}$$

Հենարանի նրբանում որոշելով նորմալ լարումները այն համեմատում ենք թույլատրելի լարումների հետ և ստանում ենք գրունտի ամրության պայմանը:

Ուսումնասիրվել են բարձր ճնշումային ջրատարների շահագործման մի քանի խնդիրներ, որոնցում բացահայտվել են հիդրավլիկական ռեժիմների խափանման պատճառները և դրանց հետևանքները մեղմելու կամ դրանցից խուսափելու նպատակով մշակվել են ինժեներական միջոցառումներ:

Կատարվել է Կեչուտ-Զառիթափ-Հերհեր ինքնահոս ջրատարի հիդրավլիկական ռեժիմների ուսումնասիրություններ, քանի որ այն անցնում է խիստ կոտրտված ռելիեֆով և պահանջում է հատուկ շահագործման պայմանների մշակում: Ջրատարը, տնտեսապես արդյունավետ դարձնելու նպատակով, նրա ստորին նիշում, որտեղ ճնշումը հասնում է $H_{ст}$=500մ, կառուցվում է փոքր ՀԷԿ: ՀԷԿ-ի տարբեր ռեժիմներով շահագործման պայմաններում, կատարվել է ճնշումային և գրավիտացիոն ջրատարերում, հոսքի հիդրավլիկական չափանիշների որոշման հաշվարկները, որոնք անհրաժեշտ են խարսխային հենարանների չափերի որոշման համար: ՀԷԿ-ի տարբեր ռեժիմներում աշխատանքի դեպքում հաշվարկվել է ճնշման բարձրացման չափը, ոչ ուղիղ հիդրավլիկական հարվածի

պայմաններում: Ճնշման բարձրացումը հաշվի է առնվել նաև սեյսմիկ ուժերի ազդեցություններից: Սեյսմիկ ուժերի ազդեցության հետևանքով տեղի է ունենում հեղուկի զանգվածի տատանումներ, որը սովորաբար բնութագրվում է հարմոնիկ տատանման հավասարումով՝

$$u(x,t) = u\cos\frac{2\pi}{cT}(x - ct), \qquad (23)$$

որտեղ u-ն տատանման ամպլիտուդն է, c-ն առաձգական ալիքի տարածման արագությունն է հեղուկ միջավայրում, ջրի համար $c = 1300$մ/վրկ: Տատանումների ֆունկցիայի համապատասխան, արագացումների ֆունկցիան կունենահետևյալ տեսքը՝

$$u''(x,t) = \cos\frac{2\pi}{cT}(x - ct), \qquad (24)$$

որտեղ u"-ն առավելագույն արագացումն է սեյսմիկ բեռնավորման պայմաններում:

Հեղուկի մասնակի այս արագացումները առաջանում են լրացուցիչ ճնշում, որը որոշվում է Էյլերի հավասարումով՝

$$dp = -\rho u''(x,t)dx\ , \qquad (25)$$

որտեղից

$$p = -\rho u''_{max}\int\cos\frac{2\pi}{cT}(x - ct)dx \ \text{ կամ } \ p = -\rho u''_{max}\frac{cT}{2\pi}\sin\frac{2\pi}{cT}(x - ct) \qquad (26)$$

Ճնշման բարձրացման առավելագույն չափը կլինի՝

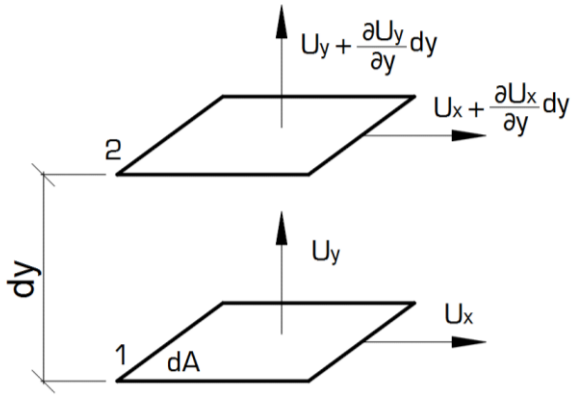
$$p_{max} = -\rho u''_{max}\frac{cT}{2\pi}: \qquad (27)$$

Ճնշման բարձրացման այս արժեքը գումարվել է ոչ ուղիղ հարվածից առաջացող ճնշմանը և որոշվել են ՀԷԿ-ի խարսխային հենարանների չափերը:

Ինքնահոս ջրատարի դյուկերային տեղամասի իջնող թևի դատարկման երևույթի ուսումնասիրության արդյունքում բացահայտվել է ընթացող երևույթների ֆիզիկական իմաստը, որոշվել է դատարկման ժամանակամիջոցը:

Իրականացվել է ճնշումային խողովակների թրթռացման երևույթների մեկնաբանություններ, որի հետևանքով բացահայտվել են խողովակի թրթռացումների վրա հոսանքի հիդրոդինամիկական պարամետրերի փոփոխման ազդեցությունները: Հեղուկի հոսքի թրթռումների փոքրացման համար կարևոր է խողովակի տրամագծի ճիշտ ընտրությունը, որպեսզի նրանում արագությունները գտնվեն թույլատրելի սահմաններում: Մեծ արագությունների դեպքում կտրուկ մեծանում է հեղուկի մասնիկների ընդլայնական ուղղությամբ տեղափոխությունները, որոնք պատճառ են հանդիսանում հոսանքի բաբախումների համար:

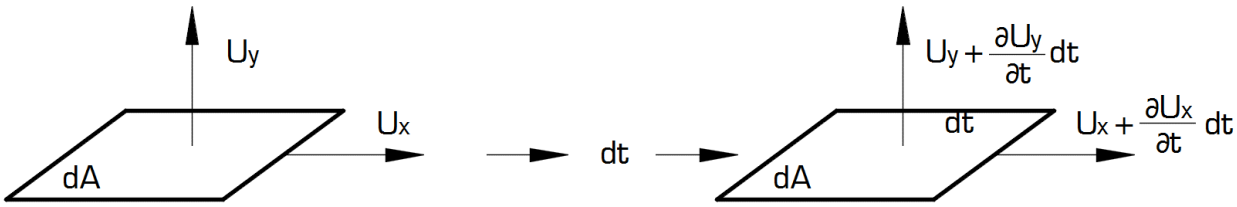
Տուրբոլենտ հոսանքներում բացի մասնիկների երկայնական տեղափոխությունից գոյություն ունի նաև դրանց ընդլայնական տեղափոխություն (նկ.5)



Նկ. 5. Տուրբուլենտհոսանքում արագության բաղադրիչների փոփոխությունները

Դիցուք 1 շերտում հեղուկի արագության բաղադրիչներն են U_x և U_y: Այդ շերտից dy հեռավորության վրա գտնվող շերտում արագության բաղադրիչները կստանան մասնակի աճ և կլինեն՝ $U_x + \frac{\partial U_x}{\partial y}dy$ և $U_y + \frac{\partial U_x}{\partial y}dy$:

Այս փոփխությունները տեղի են ունենում հեղուկի մի շերտից մյուս շերտը մասնիկների տեղափոխման արդյունքում: Ենթադրենք dA մակերես ունեցող շերտից դեպի հարևան շերտը հեղուկը տեղափոխվում է U_y արագությամբ (նկ.6):



Նկ.6. Տուրբուլենտհոսանքում շերտերի միջև զանգվածափոխանակման հաշվարկային գծապատկեր

dt ժամանակահատվածում այս շերտից տեղափոխվող հեղուկի զանգվածը կլինի՝ $\rho U_y dAdt$, որը շարժման ժամանակ U_x արագության պարագայում հավասար է $\rho U_y dAdtU_x$: dt ժամանակի վերջում տեղի կունենա արագության բաղադրիչների աճ և շարժման քանակի փոփոխություն, որը *dt* ժամանակի վերջում կլինի՝

$$\rho(U_y + \frac{\partial U_y}{\partial t}dt)dAdt(U_x + \frac{\partial U_x}{\partial t}dt):$$

Շարժման քանակի աճը կկազմի՝

$$\rho(U_y + \frac{\partial U_y}{\partial t}dt)dAdt(U_x + \frac{\partial U_x}{\partial t}dt) - \rho U_y dAdtU_x,$$

վերջին արտահայտության մեջ անտեսելով ավելի բարձր կարգի անվերջ փոքրերը կունենանք՝

$$\rho U_y \frac{\partial U_x}{\partial t}dtdAdt + \rho U_x \frac{\partial U_y}{\partial t}dtdAdt:$$

Շարժման քանակի այս աճը հեղուկի շերտում առաջացնում է շփման ուժի իմպուլս՝ $\tau dtdAdt$, որը հավասարեցնելով շարժման քանակի աճին կստանանք՝

$$\tau = \rho U_x \frac{\partial U_y}{\partial t} dt + \rho U_y \frac{\partial U_x}{\partial t} dt: \qquad (28)$$

Հեղուկի շերտերում առաջացող բաբախող լարումները այնքան հաճախակի ու նշանափոխ են, որքան արագության բաղադրիչների փոփոխություններն են: Հետևաբար խողովակները անհրաժեշտ է այնպես նախագծել ու կառուցել, որ նվազագույնի հասցվեն հոսանքի բաբախումների առաջացման աղբյուրները: Վերլուծությունների արդյունքում մշակվել են առաջարկություններ որոնք միտված են մեղմելու հոսանքի հիդրոդինամիկական պարամետրերի ազդեցությունները:

Սեյսմիկ բեռնավորման դեպքում խողովակի սեփական տատանումներին գումարվում են նաև հարկադրական տատանումները, որոնց գումարի արդյունքում խարսխային հենարանների վրա առաջանում են լրացուցիչ ուժեր: Հենարաններում խողովակների կոշտ ամրակցման պայմաններում կարող են առաջանալ անվերահսկելի երևույթներ, որոնք պատճառ կարող են դառնալ վթարների և այլ անցանկալի երևույթների: Հետևաբար, նման երևույթների կանխարգելման վերաբերյալ անհրաժեշտ է իրականացնել համապատասխան ինժեներական միջոցառումներ: Սեյսմիկ բեռնավորումների ազդեցությունները մեղմելու նպատակով առաջարկվել են ինժեներական լուծումներ, որոնց կիրառումը կարող է ապահովել դրանց հուսալի երկարամյա աշխատանքը:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆ

Ամփոփելով ճնշումային խողովակների ամրության և կայունության հաշվարկային մեթոդների կատարելագործման նպատակով իրականացված հետազոտությունների արդյունքները հանգում ենք հետևյալ եզրակացություններին ու առաջարկություններին՝

1. ճնշումային խողովակի սեփական տատանումների հետազոտությունները լայնական սահքի հաշվառման դեպքում ապահովում է տատանման սպեկտրի պարամետրերի ստուգաճշտված բացահայտումներ, որը հնարավորություն է տալիս ստույգ գնահատելու խողովակի ամրությանը և կայունությանը սպառնացող տեղամասերի իրավիճակը:
2. Սահքի դեֆորմացիայի և պտտման իներցիայի հաշվառմամբ, ճնշումային խողովակաշարի տեղամասի սեփական տատանումների հետազոտությունների արդյունքներով գնահատվել են սահքի դեֆորմացիայի և պտտման իներցիայի ազդեցության չափանիշները սեփական տատանման պարամետրերի փոփոխությունների վրա, որը հնարավորություն է տվել մշակել խողովակի ամրության և կայունության բարձրացման ինժեներական միջոցառումներ:
3. Եզրային տարբեր ամրացումների դեպքում, հեղուկատար խողովակաշարի ուղղագիծ տեղամասի սեփական տատանումների հետազոտման արդյունքները ապահովում են ստանալ գնահատականներ տվյալ հենարանների կիրառելիության

վերաբերյալ և մշակել առաջարկություններ դրանց կառուցվածքային փոփոխություն-յունների մասին:

4. Մեկ ծայրով ամրակցված, մյուս ծայրով ազատ հենված հեղուկատար խողովա-կաշարի ուղղագիծ տեղամասի սեփական տատանումների հետազոտման արդյունքներով սահմանվել են տատանման սպեկտրի վրա ազդող գործոնները, որը հնարավորություն կտա գնահատել խողովակի ամրությանը սպառնացող վտանգները և մշակել վտանգավոր տեղամասում խողովակաշարի սեփական տատանումների մեղմացման ինժեներական միջոցառումներ:

5. Սեյսմիկ ուժերի հատուկ բեռնավորման պայմաններում կայունության ապահովման առաջարկված չափանիշային հայտանիշը հնարավորություն է տալիս ընտրել խարիսխային հենարանների չափերը, որի պայմաններում ապահովվում է դրանց կայունությունը:

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅԱՆ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐԸ ԵՎ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ ԵՆ ՀԵՏԵՎՅԱԼ ԱՇԽԱՏԱՆՔՆԵՐՈՒՄ

1. Հարությունյան Հ.Ղ. Ինքնահոս ջրատարի համալիր օգտագործման մի քանի խնդիր // ՃԾՀԱՀ Տեղեկագիր.- 2014.- N4(42). - էջ 8-14:
2. Հարությունյան Հ.Ղ. Հեղուկատար խողավակաշարի ուղղաձգիծ տեղամասի սեփական տատանումների հետազոտության արդյունքները եզրային տարբեր ամրացումների դեպքում // ՃԾՀԱՀ Տեղեկագիր.- 2016.- N3(52).- էջ 3-10:
3. Հարությունյան Հ.Ղ. Հեղուկատար խողավակաշարի ուղղաձգիծ տեղամասի սեփական տատանումների հետազոտությունը մասնավոր դեպքի համար // ՃԾՀԱՀ Տեղեկագիր.- 2016.- N4(53).- էջ 3-6:
4. Մարգարյան Ա. Յա., Գևորգյան Ա.Ա., Հարությունյան Հ.Ղ. Դյուկերի իջնող թևի ինքնահոս դատարկումը մինչև հավասարակշռության մակարդակը // ՃԾՀԱՀ Տեղեկագիր.- 2016.- N2(51).- էջ 3-7:
5. Սարուխանյան Ա.Ա., Հարությունյան Հ.Ղ., Սուքիասյան Ա.Ն. Ճնշումային խողովակների թրթռացման երևույթների վերլուծություն // ՃԾՀԱՀ գիտական աշխատությունների ժողովածու.- 2016.- N3(62).- էջ 119-124:
6. Հարությունյան Հ.Ղ., Սարուխանյան Ա.Ա., Շամյան Վ.Լ. Սեյսմիկ շրջաններում ճնշումային խողովակաշարերի շահագործման առանձնահատկությունները // ՃԾՀԱՀ գիտական աշխատությունների ժողովածու.- 2016.- N3(62).- էջ 46-51
7. Poghosyan M. Z., Tokmajyan H.V., Harutiunyan H.Gh. Natural oscillations of a pressure pipeline section taking into consideration shear strain and rotary inertia // Proc.s of the 4-th internat. Conf. on contemporary problems in architecture and constraction.Sustainable building induustry of the future.-2012.-Czestochowa, Poland.- P. 496-498
8. Poghosyan M. Z., Tokmajyan V.H., Harutiunyan H.Gh. Small oscillations of a fluid transporting pipeline taking into account transverse shear and rotation inertia // Jour. of Beijing Univer. of Civil Eng. and Archi.- 2013.- 3.- P. 49-52.

АРУТЮНЯН ГРАЧЬЯ КАГРАМАНОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДОВ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

РЕЗЮМЕ

В работе представлены результаты исследования устойчивости и прочности напорных трубопроводов гидротехнических сооружений. Напорные трубопроводы являются одним из основных средств транспортировки различных жидких и твердых продуктов, поэтому требования к прочности и устойчивости напорных трубопроводов весьма строгие, так как авария на них чревата большими разрушениями, значительными финансовыми потерями и ухудшением экологической обстановки. Этим объясняется тот факт, что в этом направлении было проведено большое количество исследований, были разработаны многочисленные нормативные документы.

Основными причинами аварии на напорных трубопроводах является их колебание и, как следствие образование, резонанса от вынужденного и собственного колебаний. В многочисленных исследованиях по собственным колебаниям напорных трубопроводов не учитывались их продольные деформации; были сделаны попытки выявить влияние этих фактов на частоту собственных колебаний и критическую скорость потока, при которой устойчивость трубопровода нарушается. Получена система дифференциальных уравнений поперечных колебаний напорного трубопровода с учетом поперечной деформации. Далее эти уравнения были проинтегрированы при различных граничных условиях.

Рассмотрена задача малых колебаний участка напорного трубопровода с учетом поперечного сдвига и окружной инерции. По методу разделения переменных и введением безразмерных координат, система дифференциальных уравнений в частных производных приведена к системе обыкновенных дифференциальных уравнений, получены решения при сформулированных граничных условях для трубы, свободно лежащей на концах. По методу Галеркина получены формулы расчета частот собственных колебаний и критический скорости жидкости, при которой нарушается устойчивость трубы.

Рассмотрены также задачи устойчивости напорной трубы при закрепленных концах, а также случай, когда один конец закреплен, а другой свободен. Решение последней задачи задается в виде ряда гармонических функций. Для каждой задачи построены графики изменения частоты колебания при разных значениях безразмерных параметров скорости потока. Результаты расчетов были сопоставлены с результатами расчета по существующим методам и были сделаны выводы.

Полученные результаты по частотам собственных колебаний участка напорных трубопроводов дают возможность оценить влияние параметров потока на устойчивость и частоту собственных колебаний, что имеет большое практическое приложение.

Эксплуатация высоконапорных гравитационных напорных водопроводов требует соблюдения особых правил и технических условий. Рассмотрены некоторые задачи, возникающие в ходе эксплуатации таких трубопроводов; выявлены причины отказа и разработаны инженерные мероприятия по устранению возможных аварий. В частности, исследована задача опорожнения дюкерного участка напорного трубопровода по уравнениям одномерного неустановившегося движения. Выявлены закономерности изменения скорости и напора по времени, а также время стабилизации процесса.

В особенно сложных условиях оказываются высоконапорные гравитационные трубопроводы, эксплуатируемые в высокосейсмических районах. Помимо собственного колебания на такие трубопроводы воздействуют также сейсмические колебания и вероятность возникновения резонанса и, как следствие, авария трубопровода или примыкающих других инженерных сооружений неизбежна. Разработаны инженерные решения по ликвидации угроз устойчивости напорных трубопроводов при сейсмических нагрузках. Анализ причин вибрации в напорных трубопроводах позволил сделать ряд инженерных предложений, которые могут резко снизить степень вибрируемости и, тем самым, повысить их надежную эксплуатацию. Выполнено комплексное исследование процессов, происходящих в высоконапорном гравитационном трубопроводе и примыкающем напорном трубопроводе малой ГЭС при разных режимах ее работы. Выявлены наиболее опасные режимы, при которых возможно нарушение устойчивости и прочности напорных трубопроводов и других инженерных сооружений и разработаны соответствующие мероприятия.

HARUTIUNYAN HRACHYA KAGRAMAN

IMPROVEMENT OF HYDRAULIC FACILITIES PRESSURE PIPELINES STRENGTH AND STABILITY CALCULATION METHODS

Summary

This work represents results of study of waterworks pressure pipelines strength and stability. Pressure pipelines are one of main facilities used for transportation of various liquid and hard products, therefore strength and stability requirements for pressure pipelines are rather strict, for their breakdown is fraught with serious consequences such as failure of pipelines, sensible material losses, and deterioration of environmental situation. To solve these problems many researchers have carried out a large number of studies, and many normative documents have been developed.

Main reasons of pressure pipelines failures are vibrations and as a consequence occurrence of resonance driven by forced and natural oscillations. In numerous studies of natural oscillations of pressure pipelines have not been taken their longitudinal strains; attempts were made to reveal influence of these facts on frequency of natural oscillations and critical rate of the flow under which occurs unstable stability of the pipeline. A system of differential equations of transverse oscillations of the pressure pipeline was derived taking into consideration lateral deformation. Further, these equations were integrated under various boundary conditions.

The problem of small-amplitude oscillations of a pressure pipeline section considering lateral shear and hoop inertia. Applying method of separation of variables and introducing dimensionless coordinates, the system of differential equations with partial derivatives was reduced to a system of simple differential equations, solutions have been obtained under formulated boundary conditions for a free-end pipe. Based on Galerkin method we have derived design formulas and equations for frequencies of natural oscillations and critical rates of fluid under which occurs unstable stability of the pipe.

Problems of the pressure built-in pipe stability and also cantilever pipe have been studies. Solution of the latter one is prescribed in the form of harmonic functions. For each

problem diagrams of oscillation frequency were plotted for different values of flow rate dimensionless parameters. The obtained results were compared with the results in accordance with existing methods and conclusions drawn.

The obtained results on natural oscillations frequencies of a pressure pipeline section enable to evaluate influence of the flow parameters on stability and the frequency of natural oscillations which may have wide practical application.

Operation of high-pressure gravity pressure water-distribution system requires special rules and engineering specifications. Several problems have been considered, occurring in the course of operation of such pipelines; causes of failure revealed and developed a number of engineering arrangements designed to eliminate of possible breakdowns. In particular, the problem of emptying of pressure pipeline siphon section was studied by equation of no stationary one-dimensional motion. Regularities of rate and pressure time-dependence change and process stabilization time have been revealed.

High-pressure gravity pipelines operating in seismically active regions are in particularly difficult conditions. Upon such pipelines apart from natural oscillations act also seismic oscillations and exists probability of resonance occurrence and as a consequence unavoidable failure of the pipeline or other adjacent engineering structures. There have been developed engineering decisions designed to eliminate stability threat of pressure pipelines under seismic load. Analysis of causes of vibration in pressure pipelines enabled making a number of engineering suggestions designed for essentially bringing down degree of vibration intensity thus to raise their dependability of service.

This work presents integrated study of processes running in high-pressure gravity pipeline and adjacent pressure pipeline of small hydropower plant under various work regimes. Most Dangerous modes have been found under which it is possible unstable stability and strength of pressure pipelines and other engineering structures and adequate measures developed.