

**ԱՐՑԱԽԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ
ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՇՈՒՇԻԻ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ**

ՎԱՀԱԳՆ ՊԱՐԳԵՎԻ ԲԱԼՋՅԱՆ

**«ՀՈՒՆԱՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ
ՄՇԱԿՈՒՄ և ԿԻՐԱՌՈՒՄ ՀԻԴՐՈՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿՆԵՐՈՒՄ»**

ԱՏԵՆԱԽՈՍՈՒԹՅՈՒՆ

Ե.23.05 «Ջրատնտեսական համակարգեր և դրանց շահագործումը»
մասնագիտությամբ
տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի համար

**Գիտական ղեկավար՝
Տեխնիկական գիտությունների դոկտոր
Վ.Հ. ԹՈՔՄԱՋՅԱՆ**

ԵՐԵՎԱՆ – 2019

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ	3
Գլուխ 1. ԶՐԱՀՈՍՔԵՐԻ ՀՈՒՆԱՅԻՆ ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ: ՀԻՄՆԱՀԱՐՑԻ ԱՐԴԻ ՎԻՃԱԿԸ ԵՎ ԿԱՆԽԱՏԵՍՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԻ ՔՆՆԱԴԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ.....	9
1.1 Ջրահոսքերի հունային վերաձևափոխությունների տեսակները	10
1.2 Հունաձևափոխությունների կանխատեսման արդի վիճակը	14
1.3 Հունային երևույթները պայմանավորող գործոնների և ձևափոխությունների կանխատեսման եղանակների քննադատական վերլուծությունը.....	17
Եզրակացություններ առաջին գլխի վերաբերյալ.....	30
Գլուխ 2 . ՈՒՂՂԱԶԻԳ ՀՈՒՆԱՅԻՆ ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿԱՆԽԱՏԵՍՄԱՆ ՀԱՄԱՊԻՏԱՆԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՄՇԱԿՈՒՄԸ	34
2.1 Հիմնախնդրի դրվածքը, սահմանված դրույթները և օգտագործվող հավասարումների հիմնավորումները.....	35
2.2 Կայունացող ուղղաձիգ հունաձևափոխությունների մաթեմատիկական մոդելը	42
2.3 Հունաձևափոխությունները նկարագրող համապիտանի հավասարման քանակական վերլուծությունը.....	52
2.4 Հունային ձևափոխությունների հնարավոր երկայնական տեսքերը.....	61
2.5 Ջրահոսքերի հունաձևաչափական պարամետրերի որոշումը	66
Եզրակացություններ և առաջարկություններ 2-րդ գլխի վերաբերյալ.....	73
Գլուխ 3 ՀՈՒՆԱՅԻՆ ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՀԻՐԴՈՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ	75
3.1 Կամրջային անցումներում հունային ողողումների կանխատեսման մեթոդի մշակումը	76
3.2 Հակասելավային պատնեշների դիմաց ընթացող հունային ձևափոխությունների կանխատեսման մեթոդի մշակումը.....	94
Եզրակացություններ և առաջարկություններ 3-րդ գլխի վերաբերյալ.....	106
ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՎ ԱՌԱՋԱՐԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ.....	107
Օգտագործված գրականության ցանկ	109
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 1	117
ՀԱՎԵԼՎԱԾ 2	120

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Աշխատանքի արդիականությունը

Գետերը Երկրի ռելյեֆը ձևափոխող հիմնական գործոնն են: Տարիների և դարերի ընթացքում ջրային հոսանքը գետավազանի լանջերից, մասամբ նաև գետահունի բարձր նիշերից ողողում և դեպի հարթավայրեր է տեղափոխում մեծաքանակ գրունտ: Մի դեպքում ողողումները, մեկ այլ դեպքում ջրաբերուկների կուտակումները վերափոխելով հունը օգտագործվող տարածքներին զգալի վնաս են պատճառում: Լեռնային և նախալեռնային բազմաթիվ ջրահոսքերում, ինչպես նաև սեզոնային գործող ցամաքուրդներում հունային ձևափոխությունները ավելի արագընթաց են և հիմնականում ընթանում են ուղղաձիգ հարթության մեջ: Բնական հունաձևափոխություններից առավել կարևոր է այդ երկույթի ուսումնասիրումը ջրահոսքերի վրա տեղադրված տարատեսակ հիդրոտեխնիկական կառույցվածքներում: Լեռնային և նախալեռնային շրջանների լայնամասշտաբ յուրացումներն ուղեկցվում են բազմաթիվ գետային կառույցների շինարարությամբ (կամրջային անցումներ, ավապաշտպան հենապատեր, ջրառի գլխամասային հանգույցներ, հակասելավային կառուցվածքներ և այլն): Դրա հետևանքով պարբերաբար աճում է արհեստականորեն խթանված հունաձևափոխությունների տեսակարար մասնեբաժինը: Մի կողմից, այդ կառուցվածքները շատ անհրաժեշտ են երկրների տնտեսության զարգացման համար: Մյուս կողմից, խախտելով գետերի բնական ռեժիմը, պատճառ են դառնում հունային վտանգավոր ձևափոխումների: Հաղորդակցության ուղիների համար նախատեսված գետային անցումների հենարանների և ավապաշտպան հենապատերի վթարների մեջ խիստ մեծ է ողողումներից առաջացող փլուզումների բաժինը:

Հունային փոփոխությունների շատ տարածված դեպք է նաև հակասելավային պատնեշների վերին բլեֆում ընթացող երկույթը: Հեղեղներով և սելավներով եկող բերվածքները կուտակվելով այդ կառուցվածքների դիմաց վերափոխում են բնական ջրահոսքի երկայնական պրոֆիլը: Այդ փոփոխությունների ճիշտ կանխատեսումը շատ կարևոր դեր ունի կառուցվածքների չափերի ընտրության և կառուցվածքի անվտանգ շահագործման համար: Պետք է նշել, որ ինչպես շատ երկրներում, այնպես էլ մեր հանրապետությունում (Լոռու, Սյունիքի, Վայոց Ձորի մարզեր) տեղակայված այդ

կառուցվածքների ճնշող մասը վաղուց լցվել է բերվածքներով և շահագործումից դուրս եկել: Թվարկված օրինակները վկայում են, որ հունային ձևափոխությունների հուսալի կանխատեսման հիմնահարցը ունի կարևոր գիտական և գործնական նշանակություն երկրների տնտեսության համար:

Ինչպես ցույց են տալիս հունային ձևափոխությունների ուսումնասիրության արդյունքների վերլուծությունը այդ երևույթի վերջնարդյունքի կանխատեսման եղանակները դեռ անկատար են: Հաշվարկային եղանակների անկատարությունները և թերությունները հաճախ են պատճառ հանդիսանում նախագծվող և իրականացվող հիդրոտեխնիկական կառուցվածքներում վթարային իրավիճակների առաջացմանը և շահագործման դժվարություններին:

Վերը բերված մեկնաբանությունները հիմք են տալիս փաստելու, որ մակերևույթային ջրահոսքերում հունների ձևափոխությունների հիմնահարցը գիտական և գործնական տեսակետից արդիական է և ունի կարևոր տնտեսական նշանակություն:

Աշխատանքի նպատակը

Աշխատանքում լուծվում է բնական և արհեստական ծագում ունեցող հունային ուղղաձիգ ձևափոխությունների կանխատեսման հիմնահարցը և գետային հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների պայմանների համար տրվում մշակված տեսական համապիտանի մեթոդի կիրառման առաջարկներ:

Ուսումնասիրության հիմնական խնդիրները

Նշված նպատակին հասնելու համար դրվել են հետևյալ խնդիրները.

- հունային վերափոխությունների հիմնահարցի ներկա վիճակի վերլուծության արդյունքում բացահայտել գոյություն ունեցող առաջարկների թերությունները և պարզել դրանց վերացման ուղիները,
- սահմանել քննարկվող հիմնահարցի դրվածքը, հիմնավորել ընդունված դրույթները և մշակել երևույթի տեսական նկարագրման հայեցակարգը,
- ճշգրտել օգտագործված հավասարումների առանձին անդամների որոշման եղանակները և հիմնավորել օգտագործվող հավասարումների ու կապերի կիրառելիության շրջանակները,

- մշակել հունափոխության արդյունքում ձևավորված նոր հատակի դիրքի կանխատեսման համապիտանի տեսական մոդել և կատարել դրա վերլուծությունը,
- ստանալ բնական հուների ձևաչափական պարամետրերի որոշման օրինաչափությունները և իրականացնել համեմատական վերլուծության,
- տեսական մոդելի հիման վրա մշակել հաշվարկային եղանակներ գետերի կամրջային անցումներում դեֆորմացիաների որոշման և հակասելավային պատնեշների մոտ կուտակված բերվածքների վերին մակերևույթի դիրքի կանխատեսման համար:

Աշխատանքի գիտական նորույթը

Ատենախոսության գիտական նորույթն են կազմում.

- բնական ծագում ունեցող և գետային կառուցվածքների մոտ ընթացող ուղղաձիգ հունային ձևափոխություններն որպես հիդրոդինամիկական մեկ ընդհանուր երևույթ ներկայացնելու վերաբերյալ հիմնավորումները,
- հիմնահարցի դրվածքի սահմանման նպատակով հունային փոխությունների կայունացման փուլում ընթացող երևույթի պարզաբանումը, այն պայմանավորող գործոնների բացահայտումը և երևույթի մաթեմատիկական մոդելավորման հայեցակարգը,
- երևույթը նկարագրող համակիրառելի մաթեմատիկական համակարգը հիմնարար հավասարումների անդամների ճշգրտման արդյունքները և օգտագործվող օրինաչափությունների կիրառելիության հիմնավորումը,
- հունային ձևափոխությունների կանխատեսման համար ստացված դիֆերենցիալ համապիտանի հավասարման քանակական վերլուծության արդյունքները ջրահոսքի բնական տարբեր պայմաններում,
- նշված հավասարման որակական վերլուծության միջոցով հուների հնարավոր երկայնական տեսքերի բացահայտումը,
- հիդրոտեխնիկական կառուցվածքներին առնչվող խնդիրներում եզրային և նախնական պայմանների բացահայտումն ու հիմնավորումը, գործնական դեպքերի համար ստացված լուծումները:

Պաշտպանության են ներկայացվում աշխատանքի գիտական և գործնական հետևյալ արդյունքները

- հունային վերափոխությունների հիմնահարցում ընդգրկված խնդիրների ներկա վիճակի գնահատման քանակական և որակական վերլուծությունը,
- քննարկվող հիմնահարցի դրվածքը, այն նկարագրող հավասարումներն ու օրինաչափությունները, որոնց փակվող համակարգն ամբողջացնում է հունային փոխությունների կանխատեսման համապիտանի տեսական մոդելը,
- տեսական մոդելի լուծման միջոցով ստացված՝ հունաձևափոխությունների երևույթը նկարագրող դիֆերենցիալ հավասարման առանձին անդամների ազդեցության քանակական և որակական գնահատման արդյունքները,
- բնական հոլների ձևաչափական պարամետրերի որոշման համար ստացված օրինաչափությունները, դրանց համեմատական վերլուծության արդյունքները,
- գետերի կամրջային անցումներում առաջացող դեֆորմացիաների, հակասելավային պատնեշների և գլխամասային հանգույցների դիմաց կուտակված բերվածքների վերին մակերևույթի դիրքի կանխատեսման համար մշակված մեթոդները,
- այդ մեթոդների կիրառմամբ ջրահոսքի տարբեր պայմանների համար հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների մոտ ընթացող հունաձևափոխությունների կանխատեսման հաշվարկային արդյունքները:

Աշխատանքի գործնական նշանակությունը

Ատենախոսության մեջ ստացված արդյունքներից.

- հունային վերափոխությունների կանխատեսման մեթոդը հնարավորություն կտա գետերի էրոզիոն բազիսի իջեցումի կամ հարթավայրային տեղամասերում բերվածքների կուտակման ժամանակ որոշել տնտեսական գործունեության համար վտանգավոր տարածքների սահմանները,
- հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների մոտ հունաձևափոխությունների կանխատեսման առաջարկները կարող են օգտագործվել նախագծային աշխատանքներում ջրընդունիչ գլխամասային հանգույցների և սելավապահ

պատնեշների չափերի հաշվարկներում, ինչպես նաև կամրջային հենարանների հիմնատակերի նիշերը սահմանելու համար,

➤ հունաձևաչափական պարամետրերի որոշման օրինաչափությունները կարող են կիրառվել ջրահոսքի հունի արհեստական փոփոխությունից հետո հաստատվող նոր պայմանները կանխատեսելիս,

➤ ատենախոսությունում կատարված ուսումնասիրությունները կարող են օգտագործվել հունային վերափոխությունների կանխատեսման ուղղությամբ կատարվելիք հետագա աշխատանքներում:

Հետազոտությունների մեթոդաբանությունը

Քննարկվող հիմնահարցի հավաստի լուծումներ ստանալու նպատակով ուսումնասիրվել են հունային գործընթացների ուղղությամբ գրականության մեջ առկա լաբորատոր փորձարարական և բնօրինակ հետազոտությունների արդյունքները, մեկնաբանվել դրանց ֆիզիկական և մաթեմատիկական մոդելները, ընդունված դրույթներն ու կանխավարկածները: Քանակական և որակական վերլուծության միջոցով վեր են հանվել առկա թերություններն ու սխալները: Օգտագործվել է նաև մի շարք հունային փոխությունների բնական դիտարկումներից ձեռք բերված փորձը:

Ստացված արդյունքների վերլուծությունը հնարավորություն է տվել բացահայտել ուսումնասիրվող երևույթի ֆիզիկական հավաստի նկարագիրը և մշակել համապիտանի մաթեմատիկական մոդել: Կատարվել են հավասարումների, կապերի և մասնավոր խնդիրների եզրային պայմանների կիրառելիության հիմնավորումներ: Իրականացված լուծումների ընթացքում է օգտագործվել է արդյունքների համեմատական վերլուծության եղանակ, իսկ ստացված համապիտանի տեսական մեթոդի մասնավոր լուծումներով առաջարկվել գործնական տարբեր խնդիրների հաշվարկային եղանակներ:

Տեսական լուծումների քանակական վերլուծման ընթացքում կիրառվել են հաշվողական Excel և MATHCAD ծրագրեր, իսկ փորձնական տվյալների մշակման համար օգտագործվել վիճակագրական մաթեմատիկայի մեթոդներ:

Ատենախոսության արդյունքների նախափորձաքննությունը

Աշխատանքի հիմնական դրույթները և ստացված արդյունքները զեկուցվել են.

- «Ջրային տնտեսության, շրջակա միջավայրի պահպանման, ճարտարապետության և շինարարության ժամանակակից հիմնախնդիրները» V միջազգային գիտատեխնիկական գիտաժողովում, Թբիլիսի, 16-19 հուլիս, 2015թ.,

- «Սելավային հոսանքներ, աղետներ, կանխատեսում և պաշտպանություն» սելավագետների 5-րդ միջազգային գիտաժողովում, Թբիլիսի, 1-5 հոկտեմբեր 2018թ.,

- «Ջրային տնտեսության, ճարտարապետության և շինարարության ժամանակակից հիմնախնդիրները» VIII միջազգային գիտատեխնիկական գիտաժողովում, 2-5 նոյեմբեր, Վրաստան, 2018թ.,

- «Շինարարություն և էներգետիկական պոտենցիալի օպտիմալացում» XV միջազգային գիտաժողովում, Ջեստոչովա, Լեհաստան, 5-8 դեկտեմբեր, 2018թ.,

- Շուշիի տեխնոլոգիական համալսարանի Ճարտարապետաշինարարական ֆակուլտետի խորհրդում 28 հունիսի, 2019թ.,

- «Ջրային տնտեսության, ճարտարապետության և շինարարության ժամանակակից հիմնախնդիրները» IX միջազգային գիտատեխնիկական գիտաժողովում, 22-27 հուլիս, Թբիլիսի, 2019թ.:

Գիտական հրապարակումները

Ատենախոսության թեմայով առկա են 10 տպագրված աշխատանք, այդ թվում և մեկ համահեղինակով մենագրություն: Այդ աշխատանքներում ներկայացված են ատենախոսության հիմնական դրույթները, մշակումները և արդյունքները:

Ատենախոսության ծավալը

Ատենախոսությունը կազմված է ներածությունից, 3 գլուխներից, ընդհանուր եզրակացություններից, օգտագործված՝ թվով 97 անուն գրականության ցանկից և հավելվածներից: Աշխատանքը շարադրված է 124 մեքենագիր էջի վրա, որից 6-ը կազմում են հավելվածները: Առկա է 46 նկար և 21 աղյուսակ:

ԳԼՈՒԽ 1. ԶՐԱՀՈՍՔԵՐԻ ՀՈՒՆԱՅԻՆ ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ: ՀԻՄՆԱՀԱՐՑԻ ԱՐԴԻ ՎԻՃԱԿԸ ԵՎ ԿԱՆԽԱՏԵՍՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԻ ՔՆՆԱԴԱՏԱԿԱՆ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ

Մակերևութային տարեկան հոսքերը (գետերն իրենց ջրհավաք ցանցով) մոտավոր հաշվարկներով կազմում են Երկրի ընդհանուր ջրային պաշարների աննշմարելի մասը ($1 / 100.000$ –ից էլ զգալի քիչ): Չնայած իրենց չնչին մասնաբաժինն այդ հոսքերը հանդիսանում են Երկրի մակերևույթն ամենաշատը ձևափոխող գործոնները: Զրային հոսքերը ջրհավաք գետավազանների լանջերից ու մասամբ նաև հունների վերին տեղամասերից գրունտներն ողողում և տեղափոխում են ներքևի տեղամասեր, մի մասն էլ հասցնում մինչև ծովեր կամ լճեր (նկ.1.1): Մոտավոր հաշվարկները ցույց են տալիս, որ ամեն տարի աշխարհի բոլոր գետերը միասին տեղափոխում են շուրջ 120 կմ^3 գրունտ: Միջազգային վալյուտային ֆոնդի տվյալներով անցած դարի ընթացքում այդ հոսանքներն օգտագործումից լրիվ կամ մասնակի հանել են գյուղատնտեսական նշանակության զգալի տարածքներ: Այստեղ դեռ հաշվի չեն առնված լեռնալանջերի ոչ մշակովի հողերը, այդ թվում արոտավայրերը:



Նկ.1.1 Գետի դասական տեսքը՝ ակունքից մինչև գետաբերան
<http://www.myshared.ru/slide/1103873/>

1.1 Զրահոսքերի հունային վերաձևափոխությունների տեսակները

Մեծ ու փոքր ջրահոսքերի հուներում մշտապես ընթացող ողողումները և հոսանքով եկող ջրաբերուկների կուտակումները պատճառ են հանդիսանում հունային ձևափոխությունների՝ փոխվում են հուների հատակագծային (նկ. 1.2) և հատկապես ուղղաձիգ տեսքերը (նկ. 1.3 և 1.4): Սակայն նշված երևույթները հարթավայրային մեծ ու միջին գետերի դեպքում բավական դանդաղ ընթացք ունեն՝ հունի պրոֆիլի էական ձևափոխություններ հիմնականում գրանցվում են տարիների ընթացքում:



Նկ. 1.2 Գետաբերանում ձևավորված դելտա

<http://www.bolshoyvopros.ru/questions/1983678-otkuda-vozniklo-vyrazhenie-delta-reki.html>



Նկ. 1.3 Ողողումներից առաջացած ծորակ

Առավել դանդաղ են զարգանում հունների հատակագծային փոփոխությունները, որոնց շոշափելի արտահայտումներ գլխավորապես առաջանում են տասնամյակներում և ավելի երկար ժամանակահատվածներում: Զույգ դեպքերում էլ պարբերական չափումների միջոցով դրանք հաճախ հնարավոր է գնահատել և վտանգավոր զարգացումների դեպքում նախատեսել պայքարի միջոցառումներ:

Լեռնային, նախալեռնային գոտիների հազարավոր ջրահոսքերում, դրանց մշտական գործող վտակներում, ինչպես նաև սեզոնային գործող ցամաքուրդներում հունային ձևափոխությունները հաճախ ավելի արագ ընթաց են: Այս ջրահոսքերին բնորոշ են հատկապես ուղղաձիգ հարթության մեջ առաջացող դեֆորմացիաները, որոնց համեմատաբար շոշափելի մեծություններ ձևավորվում են ամիսների ընթացքում: Սակայն բնական ընթացք ունեցող երկարաժամկետ հունային փոփոխությունները բոլոր դեպքերում անհամեմատելի են նրանցից, որոնք առաջանում են տեղատարափ անձրևների և կտրուկ ձնհալի ժամանակ: Դրանց պայմաններում հուներով կարճ ժամանակահատվածում անցնում են բերվածքներով հագեցած հեղային ու սելավային մեծ հոսանքներ՝ բազմապատիկ արագացնելով նշված երևույթները: Հաճախ մեկ-երկու ժամվա ընթացքում առաջացած հունաձևափոխությունների չափը կարգով ավելին է լինում գետերի սովորական, բնական հոսքերի պայմաններում գրանցված արժեքներից [1, 2]: Այս հեղեղների ժամանակ են հիմնականում վնասվում և ավիրվում են հաղորդակցության ուղիներ, բնակավայրեր, մշակովի տարածքներ և տնտեսական այլ օբյեկտներ:

Բացի բնական պատճառներից գետահոսքերում հունային ձևափոխություններ (հունային դեֆորմացիաներ) առաջանում են նաև գետերի վրա տարատեսակ ինժեներական կառույցների տեղադրման ժամանակ: Վերջին կես դարում նախալեռնային շրջանների լայնամասշտաբ յուրացումներն ուղեկցվում են բազմաթիվ գետային կառույցների շինարարությամբ (կամրջային անցումներ, ափապաշտպան հենապատեր, ջրառի գլխամասային հանգույցներ և այլն): Դրա հետևանքով պարբերաբար աճում է արհեստականորեն խթանված հունաձևափոխությունների տեսակարար մասնեբաժինը: Մի կողմից, այդ կառուցվածքները շատ անհրաժեշտ են երկրների տնտեսության զարգացման համար: Մյուս կողմից, խախտելով գետերի՝

դարերով ձևավորված բնական ռեժիմը պատճառ են հանդիսանում արհեստականորեն խթանված հունային ձևափոխումների: Նկատի ունենալով, որ հատկապես լեռնային և նախալեռնային ջրահոսքերի համար այդ ձևափոխությունների կանխատեսման եղանակները դեռ անկատար են, հաճախ ենք ականատես լինում գետավազաններում վթարային իրավիճակների առաջացմանը: Օրինակ, հաղորդակցության ուղիների և տարատեսակ խողովակաշարերի համար նախատեսված կամրջային և գետային այլ անցումների բոլոր վթարների մեջ ողողումների հետևանքով հենարանների փլզման (նկ. 1.4) բաժինը կազմում է ընդհանուր վթարների $\frac{3}{4}$ մասը [3]: Բազմում օրինակներ կան նաև գետին հարակից ճանապարհների և գետափնյա բնակավայրերի ողողման վերաբերյալ:



Նկ. 1.4 Կամրջային հենարանների ողողման հետևանք
<https://www.newsvl.ru/society/2019/04/03/179500/>

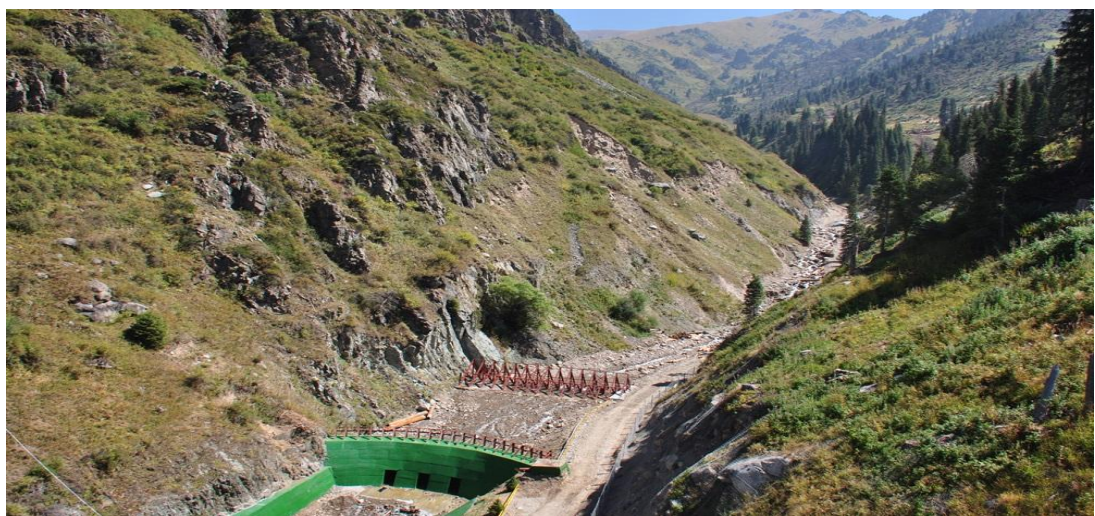
Նշված գետային կառուցվածքների կողքին շատ կարևոր դեր ունեն նաև ջրային հոսքի կարգավորման և սելավների դեմ պայքարի համար օգտագործվող հիդրոտեխնիկական մյուս միջոցները: Մասնավորապես, շահագործվում և շարունակվում են կառուցվել մեծաթիվ ջրամբարային պատվարներ, հակահեղեղային և սելավապաշտպան պատնեշներ: Ժամանակի ընթացքում հեղեղային և սելավային հոսանքներով եկող կոշտ բերվածքները կուտակվելով այդ կառուցվածքների դիմաց



Նկ. 1.5 Զրաբերուկներով լցված ջրամբարային թաս



Նկ. 1.6 Սելավային բերվածքներով լցված պաշտպանիչ պատնեշների կասկադ



Նկ. 1.7 Նոր կառուցված հակահեղեղային պատնեշ

վերափոխում են բնական ջրահոսքի պրոֆիլը (նկ. 1.5, 1.6 և 1.7): Այդ փոփոխությունների ճիշտ կանխատեսումը շատ կարևոր դեր ունի կառուցվածքների չափերի ընտրության և կառուցվածքի անվտանգ շահագործման տեսակետից:

1.2 Հունաձևափոխությունների կանխատեսման արդի վիճակը

Հունաձևափոխությունների ուսումնասիրվածության ներկա վիճակը կարելի է գնահատել շատ անբավարար: Նախ կարևոր է նշել, որ մինչ այժմ էլ հեղինակների ճնշող մասը մասնագիտացված լինելով հունային այս կամ այն կոնկրետ երևույթի ուսումնասիրության մեջ փորձում չի արվել գտնել այն ընդհանուր հիմնադրույթները, որոնք շաղկապում են բոլոր տեսակի հունաձևափոխությունները: Դա է պատճառը, որ տեսական, բնական և լաբորատոր ուսումնասիրությունները հիմնականում դեռ շարունակվում են վերը նշված առանձին խնդիրների լուծման ուղղությամբ: Նշենք հունային վերափոխությունների հիմնահարցում ընդգրկված մի շարք մասնավոր խնդիրներ, որոնց մասով բավականին լավ արդյունքներ են գրանցվել:

Տնտեսության զարգացումը, որը լայն թափ ստացավ 19-րդ դարի սկզբներին, թելադրում էր ստեղծել հաղորդակցության ուղիների լայն ցանց: Այդ իսկ պատճառով հունային ձևափոխություններին վերաբերվող ուսումնասիրությունների առաջին գիտական աշխատանքները 20-րդ դարի սկզբներից սկսած նվիրված են եղել կամրջային անցումների հիդրոդինամիկային և հունային դեֆորմացիաների որոշմանը (կամրջային հիդրավլիկա): Այս ուղղությամբ կարևոր ներդրում են ունեցել սովետական և արտասահմանյան մի շարք հեղինակներ [4, 5, 6, 7], որոնք այս կամ այն հիպոթեզների ընդունման միջոցով ստացել են հունի ողողման խորության որոշման առաջին պարզ օրինաչափությունները: Հետագա տասնամյակներում, հատկապես հարթավայրային մեծ ու միջին գետերի համար, այս խնդիրը բավականին հիմնավոր և հուսալի լուծումներ է ստացել, այդ թվում մեքենայական [8]: Դրա հետ մեկտեղ լեռնային և նախալեռնային գետերի դեպքում, երբ առկա են երևույթը պայմանավորող ավելի բազմազան և կտրուկ փոփոխվող գործոններ, խնդիրը բավականաչափ լուսաբանված չէ, իսկ առկա առաջարկների կիրառման միջակայքերը բավական սահմանափակ են:

Ջրամբարներում ջրաբերուկների կուտակման երկույթը նկարագրող հավաստի ու ավարտուն մոդելներ ևս դեռ չեն մշակվել: Նախագծերում դեռ օգտագործում են իրականությունից հեռու մոտեցումներ [9, 10]: Եթե այս խնդրի ոչ հուսալի լուծումը մեծ ջրամբարների վրա էական ազդեցություն կարող է չթողնել, ապա փոքր ու միջին ջրամբարների դեպքում սխալը հաճախ բացասական լուրջ հետևանքների է հանգեցնում: Իսկ նման ջրամբարները ընդհանուր քանակի մեջ ճնշող բաժին ունեն:

Հակահեղեղային և սելավապաշտպան պատնեշների վերին բյեֆներում հատկապես գարնանը և աշնանը զարգանում է բերվածքների կուտակման երկույթը: Հունում ձևավորող մակերևույթի ընթացիկ ու հատկապես կայունացած, վերջնական տեսքը այն կարևոր նախապայմանն է, որի հիման վրա կատարվում է կուտակումների ծավալի և կառուցվածքի չափերի հաշվարկ: Անցյալ դարի վերջին 40 տարիներին այդ մակերևույթի կորդինատների կանխատեսմանն ուղղված բավական թվով բնական և լաբորատոր հետազոտություններ են կատարվել հատկապես ԽՍՀՄ-ում (Վրաստան, Ղազախստան, Ռուսաստան և Հայաստան): Առաջարկվող կապերը բավականին պարզունակ են և չեն արտահայտում ընթացող հիդրոդինամիկական բազմագործոն երևույթների ֆիզիկական արտապատկերումը: Առկա են հիմնահարցի տեսական լուծման մի քանի առաջարկներ (Ճապոնիա, Ռուսաստան), որոնցում օգտագործվել են վիճելի կանխավարկածներ և ընդունելություններ [11, 12]: Վերջին 2 տասնամյակում կիրառություն են գտնում հունային երևույթների կանխատեսման ծրագրային փաթեթները (Հիդրավիկայի եվրոպական ինստիտուտ, ԱՄՆ և այլն): Դրանցում օգտագործվել են առանձին խնդիրների համար մշակված տեսական մոդելներ [13, 14]:

Օրինակելի լուծումներ են առկա նաև հունը կազմող գրունտների ողողման արագություն որոշման, հեղեղային և վթարային հոսքերի քանակի գնահատման, հակասելավային կառուցվածքի դիմաց կուտակումների մակերևույթի դիրքի կանխատեսման և այլն խնդիրներում [15, 16, 17]: Սակայն հիմնահարցի ընդգրկուն դրվածքի մշակման, ընդհանրացված դրույթների հիմնավորման և դրանց հիման վրա ընդհանուր և մասնավոր լուծումների ստացման ուղղությամբ քիչ թե շատ հավաստի արդյունքներ բացակայում են: Քննարկվող հիմնահարցի ամբողջական պարզաբանումը հնարավոր է կատարել փոխկապակցված մի շարք

ուսումնասիրությունների արդյունքների վերլուծության և ընդհանրացման հիման վրա [18, 19]: Այդ ուսումնասիրությունների լրակազմը ենթադրում է տարատեսակ հունաձևափոխությունների համար ունենալ կամ հավաքագրել բնական հետազոտությունների և լաբորատոր փորձարկումների տվյալներ: Բնական հետազոտությունների միջոցով պետք է ստացվի գետավազանի մորֆոլոգիական, հիդրոմորֆոմետրական, երկրաչափական և հիդրոլոգիական հիմնական բնութագրերի նկարագիրը: Փորձնական աշխատանքներով բացահայտվում է հունաձևափոխման երևույթի այս կամ այն մասնավոր խնդրի առանձնահատկությունները, ազդող գործոնների լրակազմը: Այս բոլոր տվյալների վերլուծության և ընդհանրացման միջոցով պարզաբանվում է դիտարկվող իրական, ֆիզիկական երևույթը, ինչը հնարավորություն է տալիս մշակել և հիմնավորել հիմնահարցի ընդհանուր դրվածքը և կառուցել հունային վերափոխությունների նկարագրման տեսական ընդհանուր մոդելը: Այս մոդելի հիմնքն են կազմում հիդրոդինամիկայի հիմնարար հավասարումները (շարժման, անխզելիության և հունային դեֆորմացիաների):

Ինչպես շատ խնդիրների դեպքում, առավել ևս հունաձևափոխական երևույթների բազմազանության պայմաններում հավաստի լուծումների իրականացման համար խիստ կարևորություն են ձեռք բերում տվյալ խնդրին հատուկ եզրային պայմանները: Այն դեպքերում, երբ ջրահոսքում ընթացող հունային վերաձևափոխությունը սկսվել է զարգանալ բնական պատճառներից, ապա երևույթի վերջնական արդյունքի կանխատեսման համար եզրային պայմաններ պետք է հանդիսանան ոչ միայն հունափոխությունների տեղամասի, այլ նաև գետի՝ երկարատև ժամանակում կայունությունը պահող տեղամասի երկրաչափական, հատիկակազմական, մորֆոմետրական, հիդրոլոգիական և հիդրավլիկական բնութագրերը: Իսկ երբ հունային ձևափոխությունների պատճառ է հանդիսացել գետային կառուցվածքի տեղակայումը հունի այս կամ այն առանցքում, ապա նշված եզրային պայմանների շարքին պետք է ավելացնել նաև տվյալ կառուցվածքի ազդեցությամբ սահմանափակվող եզրային պայմանը [20, 21]: Որպես օրինակ բերենք կամրջային անցումը: Կամրջային հենարանների տեղակայման համար գետի որոշակի L երկարությամբ տեղամասում բնական B_p լայնությունը պաշտպանիչ դամբաներով շատ

հաճախ փոքրացվում է: Նեղացման պատճառով առաջացած ողողումների կանխատեսման այս խնդրի եզրային պայմաններ են հանդիսանում ինչպես բնական ջրահոսքի վերը նշված բնութագրերը, այնպես էլ կամրջային անցման եզրագծերի փոփոխման օրինաչափությունը, որը ընտրվում է սահուն փոփոխվող շարժման հայտնի պայմանների հիման վրա:

Անշուշտ բացի եզրային պայմաններից հիդրոդինամիկայի դիֆերենցիալ հավասարումների թվային կամ մոտավոր ինտեգրման համար անհրաժեշտ է ունենալ նաև յուրաքանչյուր խնդրի սկզբնական պայմանները: Այսպիսով կարելի է փաստել, որ նշված հավասարումների և օրինաչափությունների, եզրային ու նախնական պայմանների ամբողջական առկայության դեպքում լուծումների իրականացումը տեխնիկական տեսակետից դառնում է ոչ բարդ խնդիր:

Անհրաժեշտ է նշել, որ հունային ձևափոխությունների կանխատեսման ոչ մեծաքանակ առաջարկների զգալի մասը վերաբերվում է ուղղաձիգ հարթության մեջ այդ ձևափոխությունների կանխատեսմանը: Ինչ վերաբերվում է հունների հատակագծային տեսքերի հնարավոր ձևափոխությունների որոշմանը (գետային մեանդրների և դելտաների առաջացում), ապա այս ուղղությամբ միայն առանձին հիպոթեզներ են առաջ քաշվել, որոնք քիչ ընդհանրություններ ունեն դելտայի և մեանդրի առաջացման ֆիզիկական մոդելի հետ: Պետք է նշել, որ այս վերջին երկու խնդիրների լուծումները դեռ սաղմնային վիճակում են:

1.3 Հունային երևույթները պայմանավորող գործոնների և ձևափոխությունների կանխատեսման եղանակների քննադատական վերլուծությունը

Ինչպես նշվել է 1.1 ենթագլխում հունային ձևափոխությունների առաջացման պատճառ կարող են հանդիսանալ ինչպես բնական այնպես էլ անթրոպոգեն գործոնները: Վերջիններիս հիմնական դրսևորումներից են ջրահոսքերի վրա հիդրոտեխնիկական տարբեր կառուցվածքների տեղակայման, ջրահոսքերի որոշ տեղամասերում հունի փոփոխության գետավազանի կայուն վիճակի խախտման գործողությունները:

Բնական փոփոխությունների առաջացման առավել տարածված պատճառներից են հունը կազմող գրունտների հեշտ ողողվելը, ջրահոսքում մեծ թեքությունների առկայությունը, էռոզիայի բազիսի փոփոխությունը և այլն:

Չխորանալով բնական հունային գործընթացների մանրամասներում նշենք, որ այդ բազմագործոն բարդ երևույթի առանձին խնդիրների պարզաբանման ուղղությամբ անցյալ դարի սկզբներից սկսած կատարվել են բավականին լուրջ ուսումնասիրություններ: Կարելի է նշել խորհրդային դպրոցի ականավոր ներկայացուցիչներ Վ.Մ. Լոխտինի [22], Վ.Մ. Մակկավենի [23], Մ.Ա. Վելիկանովի [24], Ի.Ի.Լևիի [25], Կ.Ի. Գրիշանինի [26] և այլոց աշխատանքները: Հունային երևույթների ուսումնասիրման ուղղությամբ զգալի աշխատանք կատարած ամերիկյան և եվրոպական հեղինակներից են Հ.Ա. Էյնշտեյնը (Einstein H.A.) [27], Ռ.Ա. Բագնոլդը (Bagnold R.A.) [28], Վ.Ա. Վանոնին (Vanoni V.A) [29], Ե.Ու. Լանը (Lane E.W.) [30], Ս.Ա. Սքումը (Schumm S.A.) [31], Մ.Պ. Օ'Բրայնը (O'Brian M.P.) [32] և այլոք:

Հունային գործընթացների ուսումնասիրման ասպարեզը բարդ խնդիրների մի ամբողջություն է: Դրանց շարքում առանձին ուսումնասիրման առարկա են հետևյալ հիմնական խնդիրները.

- գետավազանի երկրաբանական պայմանների գնահատումը,
- բնական հուններում էական փոփոխությունների առաջացման պատճառ հանդիսացող հեղեղային ելքերի կանխատեսումը,
- բնական ջրահոսքի կայունացած ընդլայնական հատույթի պարամետրերի (հունաձևաչափական պարամետրեր) որոշումը,
- հոսանքում կախյալ վիճակում գտնվող և հատակային, գլորվող ջրաբերուկների ելքի կամ տանողունակության որոշումը,
- հոսանքի կողմից չկապակցված գրունտի մասնիկների ողողման նվազագույն արագության որոշումը,
- պաշտպանիչ պատնեշների դիմաց կուտակված սելավային բերվածքների վերին մակերևույթի դիրքի կանխատեսումը,
- հունակազմավորման առանձին խնդիրների եզրային պայմանների ուսումնասիրում և օրինաչափությունների սահմանում և այլն:

Հիշյալ խնդիրների շարքում առաջին երկուսը հանդիսանում են այն հիմքը առանց որի, ինչպես թվարկված, այնպես էլ հունային երևույթներին առնչվող մյուս խնդիրները հնարավոր չէ լուծել: Թևպետ, այս խնդիրների վերաբերյալ արված են բավականաչափ հիմնավոր ուսումնասիրություններ և գնահատումներ, սակայն անհրաժեշտ է փաստել, որ գետավազանների պայմանների և հիդրոլոգիական բնութագրերի հուսալի կանխատեսման հարցը դեռևս մնում է օրակարգում: Դրա վկայությունն է ամեն տարի աշխարհի տարբեր երկրների տնտեսական օբյեկտներին և բնակավայրերին պատուհասող հեղեղային և սելավային հոսքերը:

Ինչ վերաբերվում է վերը թվարկված և այլ հեղինակների աշխատանքներին, նշենք, որ դրանցում արդեն քննարկված են զուտ հունային գործընթացներին վերաբերվող հարցեր: Մասնավորապես, Ն.Ի. Մակկավելի [23], Մ.Ա. Վելիկանովի [24], Ա.Կ. Անանյանի [33], Ս.Ա. Աննակի [34], Վ.Գ. Սանոյանի [35], Կ.Ֆ. Արտամոնով և Ա.Ն. Կրոշկինի [36] և այլոց աշխատանքները վերաբերվում են բնական հունների ձևաչափական պարամետրեր որոշմանը: Հիմք ընդունելով Վ.Մ. Լոխտինի կողմից առաջարկված չափորոշիչը [22] թվարկված աշխատանքներում հաստատվել են օրինաչափություններ մի կողմից բնական հունի լայնության և հոսանքի խորության, մյուս կողմից դրանց մեծությունները պայմանավորող գետի ելքի, երկայնական թեքության և հունը կազմող գրունտի հատիկաչափական բնութագրի միջև: Այդ օրինաչափություններն ընդհանրացված տեսքով կարելի է ներկայացնել հետևյալ ֆունկցիոնալ կապերի միջոցով

$$\frac{B}{d_{OT}} = K_1 \left(\frac{Q}{d_{OT}^2 \sqrt{g i d_{OT}}} \right)^X, \quad (1.1)$$

$$\frac{H}{d_{OT}} = K_2 \left(\frac{Q}{d_{OT}^2 \sqrt{g i d_{OT}}} \right)^Y, \quad (1.2)$$

որտեղ K_1 -ը և K_2 -ը – չափագուրկ գործակիցներ են, X -ը և Y -ը – աստիճանացույցեր, d_{OT} – հունը կազմող գրունտի միջին տրամագիծն է (ինքնասալարկման տրամագիծ):

Նշված գործակիցների և ցուցիչների արժեքները սովորաբար որոշվում են բնական չափումների կամ լաբորատոր փորձերի տվյալների մշակման միջոցով: Տարբեր հեղինակների մոտ այդ գործակիցների արժեքները տատանվում են բավական

ընդարձակ սահմաններում, իսկ ցուցիչների համար առկա է փոփոխման համեմատաբար նեղ միջակայք ($X = 0,4 \dots 0,5$ և $Y = 0,22 \dots 0,40$): Աշխատանքներում ստացված արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ ձևաչափական պարամետրերի որոշման համար առաջարկված կապերը որակական տեսակետից բավականաչափ հիմնավորված են, քանի որ դրանցից շատերում հաշվի են առնված երևույթը պայմանավորող հիմնական գործոնները: Սակայն քանակական տեսակետից, ինչն գործնական տեսակետից ավելի կարևոր է, յուրաքանչյուր առաջարկ տեղային նշանակություն ունի և կիրառելի է շատ սահմանափակ գետավազանային պայմանների դեպքում: Կարևոր է նաև նշել, որ (1.1) և (1.2) տեսքերով առաջարկները հիմնականում կիրառել են հարթավայրային գետերի համար:

Ինչպես հունների վերակազմավորման հիմնահարցում կիրառելիության, այնպես էլ որպես գիտագործնական առանձին խնդիր լինելու տեսակետից մեծ կարևորություն ունի ջրաբերուկային ելքի կամ հոսանքի տանողունակության որոշման հարցը: Այս խնդրի հիմնական զարգացումը սկսվել է անցյալ դարի 50-ական թվականներից: Տեսական լուծման նպատակով օգտագործված են հոսանքի բնույթի և արագությունների դաշտի վերաբերյալ առաջարկված մի շարք կանխավարկածներ: Մասնավորապես, հետազոտողների մի խումբ (Վ.Մ. Մակկավենե, Ա.Վ. Կարաուշև, Կ.Ի. Ռոսսինսկի և այլք [37, 38]) խնդրի լուծումն իրականացնում է տուրբուլենտ դիֆֆուզիայի հավասարման կիրառման միջոցով:

Քննադատելով դիֆֆուզիոն տեսության թերությունները Մ.Ա. Վելիկանովի կողմից խնդիրը լուծվել է այսպես կոչված «գրավիտացիոն տեսության» միջոցով [39]: Հետագայում այդ տեսությունը իր զարգացումն է ստացել Գ.Ի. Բարենբլաթի [40] և Վ.Գ. Սանոյանի [41] աշխատանքներում: Բացի նշվածներից մի շարք այլ հեղինակների [26, 42] կողմից խնդրի լուծումներ են ձեռք բերվել օգտագործելով որոշակի տեսական հիմնավորումներ (գրունտի պոկման արագությունները, մասնիկների տեղափոխման էներգիայի ծախսը կամ մեկ այլ դրույթ):

Հոսանքի տանողունակության կամ ջրաբերուկների կոնցենտրացիայի որոշման տեսական հիմք ունեցող առաջարկների ճնշող մասը, այդ թվում վերը բերվածները, վերաբերվում է հոսանքում կախյալ վիճակով շարժվող մասնիկներին: Ինչպես վկայում

են բնական չափումները [43,44] առաջարկվող բանաձևերը բավարար ճշտությամբ արդյունքներ են տալիս հոսանքի տանողունակության մինչև 0,08 - 0,10 արժեքների դեպքում (ծավալի 8-10%-ը գրավում են կոշտ մասնիկները):

Բավական թվով բանաձևեր են առաջարկվել նաև հոսանքի հատակային մասում գլորվող համեմատաբար խոշոր ջրաբերուկների ելքի գնահատման համար: Այդ ուղղությամբ հայտնի են Գ.Ի. Շամովի [45], Վ.Ն. Գոնչարովի [46], Ի.Վ. Եղիազարովի [47], Ի.Ի. Լևիի [25] և շատ ուրիշների աշխատանքները: Դրանց մի զգալի մասը կարելի է ներկայացնել հետևյալ ընդհանրացված տեսքով՝

$$q_T = K \cdot d^\alpha \left(\frac{d}{h} \right)^\beta (V - V_0) \left(\frac{V}{V_0} \right)^3, \quad (1.3)$$

որտեղ V_0 -ն հունը կազմող գրունտի մասնիկի պոկման արագությունն է, V -ն հոսանքի միջին արագությունը, d - ն մասնիկի միջին տրամագիծը, h - ը հոսանքի խորությունը, իսկ K գործակցի և α ու β ցուցիչների արժեքները տարբեր հեղինակների մոտ փոխվում են ոչ մեծ սահմաններում:

Աղյուսակ 1.1

Հափակային ջրաբերուկների ելքի փորձնական տվյալների համեմատումը հաշվարկային արժեքների հետ (ջրաբերուկների միջին տրամագիծը 6,5 մմ, վաքի լայնություն՝ 0,5մ)

Թեքություն, աս/մ	Խորություն, մ	Արագություն, մ/վ	Ջրի ծախս, մ3/վ	Ջրաբերուկների չափված ելքը, կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Շոկիչի բանաձևի, 10 ⁻³ կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Շամովի բանաձևի, կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Եղիազարովի բանաձևի, կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ BCH-83-ի բանաձևի, 10 ⁻³ կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Գրիշանինի բանաձևի, 10 ⁻³ կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Լեվիի բանաձևի, կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Գոնչարովի բանաձևի, կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Շնակովայի բանաձևի, կգ/վ
0,03	0,71	2,18	10,85	16,80	2,08	40,83	1,11	19,5	1,27	2,97	4,44	1,57
0,03	0,75	2,24	10,77	18,10	1,60	44,83	1,33	21,0	1,42	3,99	4,92	1,15
0,03	0,75	2,50	10,83	20,30	1,23	51,43	3,35	23,5	1,59	15,91	9,65	1,28
0,03	0,74	2,13	10,85	17,10	1,51	41,74	0,78	19,8	1,33	0,92	3,60	1,21
0,03	0,79	2,42	10,57	20,20	0,96	51,37	2,38	23,4	1,64	9,97	7,36	0,73
0,03	0,73	2,28	10,51	17,50	0,70	43,26	1,60	20,3	1,35	5,79	5,55	1,37
0,03	0,72	2,60	10,58	19,80	0,76	50,15	4,53	23,0	1,51	23,43	12,28	1,70
0,03	0,76	2,22	10,79	18,20	0,81	45,12	1,18	21,1	1,44	3,12	4,58	1,02
0,03	0,78	2,34	10,52	19,20	0,60	48,39	1,82	22,3	1,55	6,79	6,06	0,82

*- Ջրաբերուկների հաշվարկված ելքերը ունեն բացասական արժեք

Ալա-արչա գետի հատակային ջրաբերուկների ելքի չափումների տվյալների համեմատման արդյունքները հաշվարկային արժեքների հետ (ջրաբերուկների միջին տրամագիծը 145 մմ)

Թեքություն, աս/մ	Խորություն, մ	Արագություն, մ/վ	Ջրի ծախս, մ ³ /վ	Ջրաբերուկների չափված ելքը, կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Շոկիչի բանաձևի, 10 ⁻³ կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Շամուլի բանաձևի, կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Եղիազարովի բանաձևի, կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ BCH-83-ի բանաձևի, 10 ⁻³ կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Գրիշանիչի բանաձևի, 10 ⁻³ կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Լեվիի բանաձևի, կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Գոնչարովի բանաձևի, կգ/վ	Ջրաբերուկների ելքը ըստ Շմակովայի բանաձևի, կգ/վ
0,03	0,71	2,18	10,85	16,80	2,08	40,83	1,11	19,5	1,27	2,97	4,44	1,57
0,03	0,75	2,24	10,77	18,10	1,60	44,83	1,33	21,0	1,42	3,99	4,92	1,15
0,03	0,75	2,50	10,83	20,30	1,23	51,43	3,35	23,5	1,59	15,91	9,65	1,28
0,03	0,74	2,13	10,85	17,10	1,51	41,74	0,78	19,8	1,33	0,92	3,60	1,21
0,03	0,79	2,42	10,57	20,20	0,96	51,37	2,38	23,4	1,64	9,97	7,36	0,73
0,03	0,73	2,28	10,51	17,50	0,70	43,26	1,60	20,3	1,35	5,79	5,55	1,37
0,03	0,72	2,60	10,58	19,80	0,76	50,15	4,53	23,0	1,51	23,43	12,28	1,70
0,03	0,76	2,22	10,79	18,20	0,81	45,12	1,18	21,1	1,44	3,12	4,58	1,02
0,03	0,78	2,34	10,52	19,20	0,60	48,39	1,82	22,3	1,55	6,79	6,06	0,82

Եթե կախյալ մասնիկների դեպքում նույն պայմանների համար հոսանքի տանողունակության բանաձևերը տալիս էին իրարից որոշակի տարբերվող արդյունքներ, ապա հատակային ջրաբերուկների ելքի բանաձևերի միջոցով կատարված հաշվարկները ցույց են տալիս ստացված արդյունքների ահռելի տարբերություն: Ասվածի ակնհայտ վկայությունն է նաև Շ.Ռ. Պոզդնյակովի և Մ.Վ. Շմակովայի կողմից կատարված ընդարձակ քանակական վերլուծությունը [48]: Այդ աշխատանքում բերված են մի շարք բանաձևերով կատարված հաշվարկային մեծությունների համեմատության արդյունքները փորձնական ու բնական չափումների տվյալների հետ (աղյ. 1.1, 1.2 և 1.3): Աղյ. 1.3-ում բերված տոկոսային համեմատության տվյալները վկայում են, որ որ հունային երևույթների հիմնահարցի նույնիսկ մի խնդրի լուծումը, ինչպիսին է ջրաբերուկների քանակի որոշումը, որքան հեռու է բավարար գնահատվելուց: Հիմնական պատճառն այն է, որ առկա առաջարկներում հաշվի չեն առնվել իրական երևույթը պայմանավորող մի քանի գործոններ, որոնք կախված են

ջրահոսքի բնույթից և առանձնահատկությունից: Շատ հազվադեպ են այն բանաձևերը, որոնց միջոցով հաշվարկված արդյունքները քիչ թե շատ մոտ են բնական տվյալներին:

Իրականությունից հեռու արդյունքներ են դիտարկվում նաև ջրաբերուկների գումարային քանակի որոշման համար առկա ոչ մեծաթիվ առաջարկներում (Ս. Մայեր-Պետեր[47], Ու. Հ. Գեֆ [49], Լ.Կ. Վեն Ռեյջն [50]): Ընդ որում, և հատակային ջրաբերուկների ելքի և ջրաբերուկների ընդհանուր ելքի որոշման բանաձևերի հիմնական մասը ստացվել է ազդող գործոնների մեծությունների փոփոխման սահմանափակ շրջանակում կատարված լաբորատոր կամ բնական չափումների տվյալների մշակումից:

Աղյուսակ 1.3

Տարբեր բանաձևերով հաշվարկված արդյունքների և բնական չափումների տվյալների միջև առկա հարաբերական շեղումը (%)

Հատակային ջրաբերուկների ելքի բանաձևեր	Միջին հարաբերական շեղում, %	
	Վաք	գ. Ալա-արչա
Ա.Շոկլիչ	49*	4730
Գ.Ի.Շամով	113	145
Ի.Վ.Եղիազարով	292	2100
BCH-83 նորմերից $I > 0,01$ գետերի համար	100**	65
Կ.Վ.Գրիշանին	100**	100**
Վ.Ն.Գոնչարով	77	600
Ի.Ի.Լեվի	414	_*
Մ.Վ.Շմակովա	50	42

*- Ջրաբերուկների հաշվարկված ծախսերը ունեն բացասական արժեք

** - Ջրաբերուկների հաշվարկված ծախսերը մոտ են զրոյին

Վերջին երկու տասնամյակում հիդրոդինամիկայի տարբեր խնդիրների լուծման հետ մեկտեղ բավականին լայն տարածում է գտել նաև բնական ջրահոսքի պայմաններում բերվածքների քանակի որոշման մեջ հաշվողական ծրագրերի կիրառումը: Այստեղ կարելի է նշել Վ.Մ. Բելովիպեցկայայի [51], Ա.Վ. Մագոմեդովայի [52] և այլոց աշխատանքները: Իհարկ այս ծրագրերի կիրառումը էապես հեշտացնում է կատարվող հաշվարկները և հնարավորություն է տալիս կատարել վերլուծություններ ու համեմատություններ: Սակայն չպետք է մոռանալ, որ այդ ծրագրերը մշակվում են առկա առաջարկների հիմքի վրա և հետևապես, վերջիններումս եղած

անկատարություններն ու թերությունները ինքնաբերաբար փոխանցվում են հաշվողական ծրագրերով կատարվող հաշվարկներին:

Հունային վերափոխությունների ուսումնասիրվածության ներկա վիճակը ընդունված է համարել շատ անբավարար: Հիմնահարցի բարդությունը, ազդող գործոնների բազմազանությունը, մասնակից առանձին խնդիրների պայմանների առկայությունը էապես սահմանափակել են այդ ուղղությամբ կատարված աշխատանքների քանակը: Ընդ որում, հիմնահարցի պարզաբանմանը հատկապես խոչընդոտել են դրանում ընդգրկված և վերևում վերլուծված մի շարք խնդիրների լուծման ոչ բավարար արդյունքները: Սակայն քննարկվող թեմայի ուղղությամբ կատարվել են մի շարք ուսումնասիրություններ, որոնցով փորձ է արվել պարզաբանել հունային փոփոխությունների այս կամ այն տեսակի դրվածքը և տալ դրա լուծման քիչ թե շատ հուսալի եղանակ: Ստորև ներկայացվում է մի շարք հեղինակների կատարած աշխատանքների քննադատական վերլուծությունը:

Հունային վերափոխությունների մի մասնավոր, բայց բավական տարածված և կարևոր դեպք է հակասելավային պատենշների դիմաց կուտակված բերվածքների կայունացած մակրևույթի դիրքի կանխատեսման խնդիրը: Այս ուղղությամբ առաջին աշխատանքները անցյալ դարի կեսերից սկսել են կատարվել Ռուսաստանի և Ուկրաինայի մի շարք մասնագիտացված կենտրոններում: Կարելի է նշել Վ.Ե. Անուֆրիևի, Պ.Ի. Սալնիկովի, Ի.Յա. Բոյարսկու, Յա.Ի. Կազանովի և այլ հեղինակների առաջարկները [53,54,55,12,56]: Այդ աշխատանքներում կուտակված բերվածքների վերին մակրևույթի թեքության համար ստացված արտահայտությունները շատ պարզունակ են, և հաշվի չի առնվել ոչ ջրահոսքի բնույթը, ոչ հիդրոմեխանիկայի հավասարումները և առավել ևս եզրային պայմանները : Թվարկված և նմանտիպ առաջարկների մեծ մասը ընդհանուր տեսքով ներկայանալի է բերվող գծային կապով

$$I = K \cdot i_c^n, \quad (1.4)$$

որտեղ I – կուտակումների մակրևույթի թեքությունն է, i_c – հունի հատակի թեքությունը կառուցվածքի տեղակայման տեղամասում: K գործակիցի և n ցուցիչի արժեքները տարբեր հեղինակների մոտ տատանվում են, համապատասխանաբար, 0,5- 1,0 և 0,7- 1,0 միջակայքերում:

Պարզ վերլուծությունից երևում է, որ նույն ջրահոսքում, նույն սելավային պարամետրերի պայմաններում նույն կառուցվածքի դիմաց կուտակումների մակրևային դիրքը փոխվելու է՝ կախված նրանից թե որտեղ է այն տեղակայված: Ակնհայտ է, որ նման ոչ հիմնավորված մոտեցումը չի կարող բնութագրել ընթացող հունային վերափոփոխությունը: Հետագա հետազոտություններով փորձ է արվել քննարկվող խնդրի դրվածքը մոտեցնել իրական երևույթին և ստանալ առավել հավաստի լուծումներ: Դրանց շարքում կարելի է նշել Ա. Դայի Դոյի [11], Խ.Ա. Իսմագիլովի [57], Պ.Հ. Բալջանի [58] աշխատանքները: Մասնավորապես, առաջին աշխատանքում խնդրի լուծումը ձեռք է բերվել որպես ոչ կայունացած երևույթի վերջնական արդյունք: Սակայն այդ ընթացքում կատարվել են մի շարք կասկածելի ընդունելություններ: Արդյունքում կուտակումների վերին մակրևային թեքության համար ստացվել է հետևյալ արտահայտությունը

$$I = \frac{Q^2 \cdot \chi^{-2}}{C^2 \cdot m^2 \cdot H_* \cdot L^{4/5}} - \frac{4}{5} H_* \cdot L^{4/5} \cdot \chi^{-9/5} - \frac{Q^2 \cdot \chi^{-7/5}}{5 g m^2 \cdot H_* \cdot L^{8/5}}, \quad (1.5)$$

որտեղ Q – ն հեղուկ ելքն է, C – ն Շեզիի գործակիցը, m – ը դեպի կառուցվածք հունի լայնացման աստիճանը (հունի հատակագծային բացման անկյան տանգենսը), B_0 – ն հունի բնական լայնությունը, L – ը կուտակումների տեղամասի երկարությունը, H_* – ը հոսանքի խորությունը պաշտպանիչ պատնեշի վրա:

Բերված արդյունքի մեջ նախ երևում է որ նոր ձևավորվող մակրևային թեքություն ունեցող հարթություն է: Դա երբեք չպետք է տեղի ունենար հունային փոփոխություններից հետո ձևավորվող փոփոխական լայնության հունում, որտեղ ապահովվելու է ջրաբերականային ելքի հաստատունության պայմանը: Այնուհետև, H_* և L մեծությունների որոշման հարցը բավականին մշուշոտ է՝ մասնավորապես, եթե թեքության մեծությունը որոնվող է, ապա կուտակումների տարածման երկարությունը, որը կախված է հենց այդ թեքության արժեքից, ինչպես կարող է դառնալ ելքային պայման: Նշված թերություններից զուրկ են [57] և [58] աշխատանքներում կատարված առաջարկները: Մասնավորապես, երկրորդ աշխատանքում նոր ձևավորված սեղանաձև հունի հատակի կանխատեսվող կորդինատների և այդ հունով շարժվող

հոսանքի կենդանի հատույթի միջև առաջարկվում է դիֆերենցիալ հավասարումների հետևյալ համակարգը

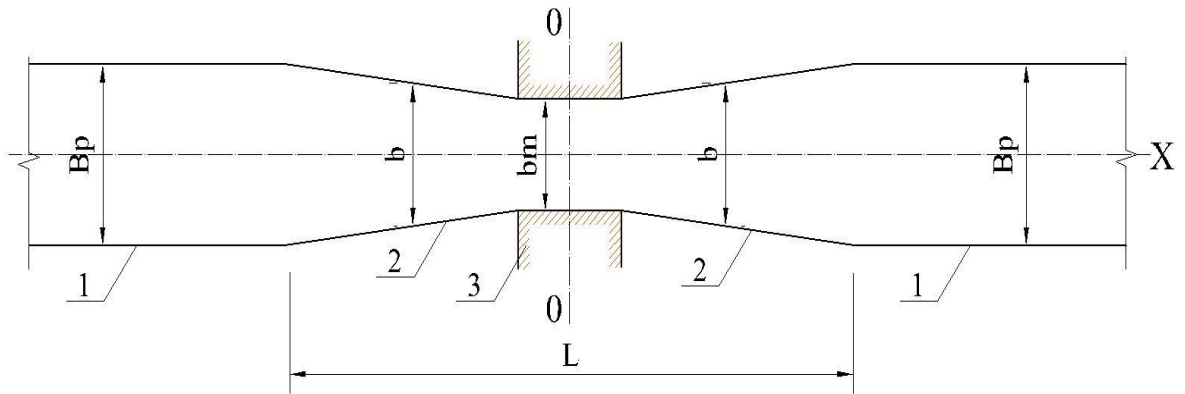
$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + f_1(\bar{A}) \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} - \frac{Fr_0}{\beta_0 \bar{A}^3} \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{A}^{1/3} \bar{d}_{OT}^{1/3}, \quad (1.6)$$

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = i_p + \frac{1}{2m} f_2(\bar{A}) \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}}, \quad (1.7)$$

որտեղ i_p - ն երկայնական թեքությունն է մինչև ձևափոխությունների սկսելը:

Հավասարման $f_1(\bar{A})$ և $f_2(\bar{A})$ ֆունկցիաները բացի A մակերեսից կախված են նաև հունի մի շարք այլ պարամետրերից: Ինչպես նշված առաջարկին, այնպես էլ [56] աշխատանքում մշակված մեթոդին հատուկ է ընդհանուր մի թեքություն. հունային երևույթներին վերաբերվող այլ խնդիրների նման այդ երկու աշխատանքներում էլ բերվածքների ելքի որոշման համար օգտագործվում է մի կոնկրետ բանաձև: Բայց վերևում ցույց է տրվել, որ գոյություն ունեցող առաջարկներով կոշտ ելքի հաշվարկային արդյունքների միջև առկա է մեծ տարբերություններ: Այս սխալը անպայմանորեն անդրադառնալու է հունային ձևափոխությունների վերջնական արդյունքի վրա: Ընդ որում, բացի [48] աշխատանքում կատարված վերլուծությունից ջրաբերուկային ելքի կամ հոսանքի տանողունակության որոշման առաջարկների մեջ առկա լուրջ թեքությունները քանակական և որակական տեսակետից քննարկվել և վեր են հանվել նաև այլ հեղինակների աշխատանքներում [47,59]:

Հունային վերաձևափոխությունների առավել տարածված և գործնական շատ կարևոր նշանակություն ունեցող տեսակից է հատկապես հաղորդակցության ուղիների և միջոցների համար գետերի վրա տեղակայվող կամրջային անցումների տեղամասում առաջացող դեֆորմացիաները: Նշենք, որ հունաձևափոխությունների այս տեսակի նկատմամբ ուսումնասիրություններն ամենից հին պատմությունն ունեն՝ սկսվել են իրականացվել դեռ անցյալ դարի սկզբներից: Դա պայմանավորված էր նոր տարածքների յուրացման և տնտեսության զարգացման համար երկաթուղիների և ճանապարհների լայն ցանցի ստեղծման անհրաժեշտությամբ:



Նկ. 1.8 Կամրջային անցման հատակագծային սխեման

1 – գետի հունը բնական վիճակում, 2 – կամրջային անցում իր պաշտպանիչ դամբաներով, 3 – կամրջային հենարաններ:

Կամրջային հենարանների և դրանք պաշտպանող դամբաների կառուցումը բերում է կայունացած հունի ձևաչափական բնութագրերի փոփոխման: Մասնավորապես, տնտեսական նպատակահարմարությունից ելնելով գետի որոշակի L երկարությամբ տեղամասում կամրջի հեծանները պահող հենարանների տեղակայման հետևանքով հունի բնական B_p լայնությունը փոքրացվում է $(B_p - b_m)$ չափով (Նկ. 1.8): Նեղացման պատճառով այդ տեղամասում մեծանում են հոսանքի խորությունը և արագությունը, ինչի հետևանքով կամրջի մոտ սկսում է զարգանալ հունը կազմող գրունտի ողողման երևույթը: Ժամանակի ընթացքում հունի խորացումը բերում է արագությունների նվազման և հունային ձևափոխությունները գործնականում մարում են: Արդյունքում ջրահոսքի երկարությամբ վերականգնվում է ջրաբերունների ելքի հաստատունությունը: Կայունացված այս նոր իրավիճակը բնութագրող պարամետրերի ճիշտ կանխատեսումն է պայմանավորում կամրջային հենարանների և պաշտպանիչ դամբայի հիմնատակերի անվտանգ նիշերի ընտրությունը: Այդ պարամետրերից գլխավորներն են անցման տեղամասում հատակի ողողման ընդհանուր խորությունը և կամրջից առաջ՝ հոսանքի դիմադրով պայմանավորված ջրի մակարդակի բարձրացման չափը: Առաջին պարամետրի մեծությունը թելադրում է կամրջային հենարանների հիմքերի տեղադրման, իսկ երկրորդը՝ կամրջային կոնստրուկցիայի հատակի նիշերը:

Սովորաբար լեռնային ջրահոսքերում, որոնք ունեն փոքր լայնություն, կամուրջները իրականացվում են միաթռիչք՝ միայն ափային հենարաններով: Հարթավայրային գետերում առկա են մի քանի միջանկյալ հենարաններ, որոնց մի մասը տեղակայվում են հեղեղումների ժամանակ ջրածածկվող գետափերին (նկ.1.4):

Լեռնային և հարթավայրային գետերում առկա է նաև հունային պայմանների և հոսանքի հիդրոդինամիկական բնույթի էական տարբերություններ: Նկատի ունենալով ջրահոսքերի այդ առանձնահատկությունները նշված պարամետրերի որոշման համար մշակվել են տարբեր հաշվարկային մեթոդներ: Կամրջային անցումների հիդրավլիկական հետազոտություններում իր հսկա ավանդը ունեն ռուսական դպրոցի մասնագետները: Գիտական առաջին հիմնավորումները 20-րդ դարի սկզբներին տրվել են ինժեներ Ն.Ա. Բելոյուբսկու կողմից: Հետագայում այս ասպարեզը որոշակի զարգացում է ապրել Վ.Մ. Լոխտինի կողմից հունային երևույթների վերաբերյալ չափորոշիչներ մշակելու արդյունքում: Նույն դարի 50-ական թվականներից սկսած կամրջային անցումների հետազոտման կենտրոն դարձան Մոսկվայի ավտոճանապարհային, Ավտոճանապարհային Համամիութենական գիտահետազոտական և Տրանսպորտակամրջային Պետական նախագծային ինստիտուտները: Կարելի է նշել Ս.Տ. Ալտունինի [60], Ի.Ա. Յարոսլավցի [61], Ա.Մ. Լատիշենկովի [62], Օ.Վ. Անդրեև և Տ.Ն. Գլազովայի [63] կողմից կատարած մեծածավալ ուսումնասիրությունները: Այդ տարիներին կամրջատակ հունի ողողման հարցերով են զբաղվել նաև ամերիկյան գիտնականներ Ե.Մ. Լոուրսենը (Laurson E.M.) [64], Վ.Լ. Ստրայտը (Streeter V.L.) [65], Բ.Ու. Մայլվեյլը (Melville B.W.) [66]: Վերլուծելով 50-70- ական թվականներին կատարված հետազոտությունների արդյունքները Ի.Ս. Ռոտենբուրգը [67] նշում է, որ կամրջային հենարանների մոտ ողողման առավելագույն խորության որոշման առաջարկների ճնշող մասը հենվում է ջրաբերուկային ելքի հաստատունության դրույթի վրա և որակական առումով դրանք կարելի է ներկայացնել մեկ ընդհանուր կառուցվածքով

$$h_{n.p.} = H_{\text{գ.բ.}} \left(\frac{Q}{Q_{\text{գ.բ.}}} \right)^{\alpha} \cdot \left(\frac{B_{\text{գ.բ.}}}{B_m} \right)^{\beta}, \quad (1.8)$$

որտեղ α և β ցուցիչները տարբեր առաջարկների համար տատանվում են մինչև 50% սահմաններում՝ կախված թե կոշտ ելքի որոշման համար ինչ բանաձև է ընդունվել: Բերված արտահայտությունից երևում է, որ հոսանքի խորությունը կամրջի տակ մեծանում է հունի նեղացմանը ուղիղ համեմատական: Այստեղ ելքերի հարաբերությունը ցույց է տալիս թե ընդհանուր հեղեղահոսքի որ մասն է անցնում բուն հունով (մնացածը դուրս է գալիս ավերից):

Վերլուծելով մինչև անցյալ դարի 70-ական թվականների աշխատանքները կարելի է նշել դրանց հետևյալ թերությունները.

- այլ տեսակի հունային ձևափոխությունների նման այստեղ ևս յուրաքանչյուր հեղինակ բերվածքների ելքի համար օգտվել է որոշակի մեկ բանաձևից, ինչը էական նվազեցնում է առաջարկի քանակական ճշտությունը,

- մշակումների մեջ հաճախ չեն օգտագործվում շարժման և դեֆորմացիաների հավասարումները, որի արդյունքում անհայտ է մնում կամրջատակ ողջ տեղամասի, ինչպես նաև պաշտպանիչ դամբաների հատվածների տարբեր առանցքներում ողողման խորությունների մեծությունները:

Այս պայմաններում կառուցվածքների հիմնատակերի նիշերը ստիպված որոշվելու են ողողման առավելագույն խորության պայմանից և դա բերելու է կամրջային կոնստրուկցիայի զգալի թանկացմանը: Նշված թերությունները էապես նվազել են հետագա տարիներին հարթավայրային գետերի համար կատարված ուսումնասիրություններում: Այստեղ բավականին տարածում են գտել մեքենայական ծրագրերով կատարվող հաշվարկները (Մ.Մ. Ժուրավյով [68], Գ.Ա. Ֆեդոտով [69] և այլն): Հատկապես վերջին 2 տասնամյակում մեծ գետերի համար առաջարկվող ծրագրային փաթեթների հիմքում դրվել են երկչափանի ոչ կայունացած շարժման հիմնարար հավասարումները [70]:

Հարթավայրային միջին և մեծ գետերի կամրջային անցումների հաշվարկի համար կատարված դրական մեծ տեղաշարժերի կողքին կարելի է փաստել, որ լեռնային և մասամբ կիսալեռնային տարածքների ջրահոսքերի դեպքում նմանատիպ զարգացումներ բնավ չեն նկատվում: Այս ասպարեզում առաջարկները շատ հազվադեպ են [71,72], և մշակված մոդելները կամ պարզունակ են կամ բնութագրվում

են բավականին սահմանափակ և ոչ հուսալի եզրային պայմաններով: Ուստի դրանք լավագույն դեպքում կիրառելի կլինեն որոշակի ջրահոսքի պայմաններում:

Հունային ձևափոխությունների ուղղությամբ վերջին 2 տասնամյակում կատարվել են մի շարք ուսումնասիրություններ: Այստեղ կարելի է նշել Ն.Ի. Մակկավենի [73], Ն.Ս. Ջնամենսկայայի [74], Ա.Ն. Կոնդրատևի [75], Ա.Ս. Երմակովի [76], Ա.Վ. Մագոմեդովայի և Մ.Ա. Գուրևի [77] աշխատանքները: Սակայն պետք է նշել, որ նշված և նման մյուս աշխատանքներում հունային վերափոխումների բացահայտման նոր կանխավարկած կամ մաթեմատիկական նոր նկարագիր չի առաջարկվում: Այդ մշակումներում.

- կամ բերվում է հունների հատակագծային լոկալ ձևափոխությունների ուսումնասիրման և հիդրավլիկական մոդելավորման արդյունքները [73,74],
- կամ տրվում է առկա կանխավարկածների ու դրույթների վերլուծությունը և գործնական կիրառման արդյունքները [75 և 77],
- կամ եղած մոդելները օգտագործվում են որոշակի գետային կառուցվածքի համար տվյալ եզրային պայմաններում հաշվարկներ կատարելու համար [76,77]:

Եզրակացություններ առաջին գլխի վերաբերյալ

Մասնագիտական գրականությունում առկա առաջարկների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ բացակայում է բոլոր տեսակի հունային ձևափոխությունները ընդհանրացնող դրվածք և դրա հիման վրա կառուցված մաթեմատիկական մոդել, որոնք կարող էին դառնալ հիմնահարցում առկա մասնավոր խնդիրների լուծման հիմքը: Դրա հետ մեկտեղ կատարված վերլուծությունն ի հայտ է բերել մի շարք էական թերություններ և սխալներ, ինչպես քննարկվող հիմնահարցում, այնպես էլ դրանում ընդգրկված առանձին խնդիրներում: Դրանք հիմնականում հետևանք են ընթացող երևույթի և այն պայմանավորող գործոնների թերի բացահայտման ու նաև գետի ջրաբերուկային ռեժիմի թերի ընկալման: Այդ պատճառով շատ հաճախ խնդրի դրվածքում սահմանվում են ոչ հավաստի դրույթներ, կատարվում է ջրահոսքի ելքային բնութագրերի իրական մեծությունների ոչ ճիշտ գնահատում, ինչպես նաև հիմնարար հավասարումներում օգտագործվում են թույլ հիմնավորում ունեցող կապեր:

Ընդհանրացնելով հիմնահարցի ուղղությամբ կատարված աշխատանքների վերլուծության արդյունքները նշենք դրանցում առկա հիմնական թերությունները.

- առաջարկվող մոդելներում գետի հունային կայունացող ձևափոխությունների արդյունքը կանխատեսելիս, որպես ջրահոսքը բնութագրող պարամետրերի ելքային արժեքներ ընդունվում են այդ տեղամասը կամ դրանից ամիջապես վերև ընկած հատվածը բնորոշող մեծությունները: Այսպիսով նույն գետի տարբեր տեղամասերի ձևափոխությունները կանխատեսելիս դրանց վերագրվում են ելքային պարամետրերի տարբեր բնութագրող արժեքներ, ինչն էլ բերում է վերջնական լուծման ոչ հավաստի արդյունքների,

- հիմնարար հավասարումներում օգտագործվող ջրաբերուկների ելքի որոշման համար յուրաքանչյուր հեղինակ օգտագործում է իրեն նախընտրած բանաձևը: Բնական և փորձարարական ուսումնասիրություններով ապացուցվել է, որ նույն պայմանների դեպքում տարբեր բանաձևերով հաշված ջրաբերուկների ելքի արժեքներն իրարից խիստ տարբերվում են ինչը նշանակում է, որ կիրառության նեղ շրջանակ կամ զգալի սխալներ ունեցող այս կամ այն բանաձևի թերությունները ինքնաբերաբար փոխանցվում են հետագա մշակումներին,

- հաջորդ էական սխալը թույլ է տրվում երկֆազ հեղուկի շարժման հավասարման մեջ համար էներգիայի կորուստները որոշելիս: Այստեղ բացառապես օգտագործվում են մաքուր ջրի համար առաջարկված օրինաչափությունները: Կատարված մի շարք փորձարարական հետազոտություններ ցույց են տալիս, որ հոսանքում բերվածքների առկայությունը զգալի մեծացնում է էներգիայի ծախսը,

- վերջին թերությունը մեթոդական է և վերաբերվում է ոչ կայունացած շարժման ոչ գծային դիֆերենցիալ հավասարումների միջոցով հունաձևափոխության համար ամենակարևոր, վերջնական արդյունքի կանխատեսմանը: Ընդ որում նման համակարգերի լուծման ընթացքում պարտադիր կատարվում են մի շարք գծայնացումներ և կասկածելի ընդունելություններ:

Ատենախոսական աշխատանքի նպատակը և խնդիրները

Հաշվի առնելով հունային գործընթացների ուսումնասիրման առկա վիճակը և հունաձևափոխությունների կանխատեսման առաջարկների վերլուծության արդյունքում վեր հանված թերություններն ու անկատարությունները ատենախոսությունում սահմանվել է ուսումնասիրությունների նպատակը և լուծման ենթակա խնդիրները, որոնք են.

Աշխատանքում նպատակ է դրվել մշակել բնական և արհեստական ծագում ունեցող հունային ուղղաձիգ ձևափոխությունների կանխատեսման տեսական մոդել և դրա մասնավոր կիրառման միջոցով գետային հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների եզրային պայմանների դեպքում առաջարկել ընթացող հունային երևույթների բնութագրերի որոշման մեթոդներ:

Աշխատանքի նպատակը ձեռք է բերման համար դրվել են լուծման ենթակա հետևյալ խնդիրները.

- ❖ հունային վերափոխությունների հիմնահարցի ուսումնասիրվածության ներկա վիճակի վերլուծությամբ բացահայտել հիմնահարցի լուծման ուղղությամբ առկա առաջարկների թերությունները և ցույց տալ դրանց ճշգրտման կամ կատարելագործման ուղիները,

- ❖ սահմանել քննարկվող հիմնահարցի նոր դրվածքը ըստ հունաձևափոխությունների կայունացման փուլի իրական նկարագրի, հիմնավորել ընդունված դրույթները և մշակել երևույթը նկարագրող տեսական մոդել,

- ❖ ճշգրտել համակարգը կազմող հիմնարար հավասարումների և օրինաչափությունների առանձին անդամների որոշման եղանակները, հիմնավորել օգտագործվող հավասարումների և կապերի կիրառելիության շրջանակները,

- ❖ մշակել հունափոփոխության արդյունքում ձևավորված նոր հունի պարամետրերի կանխատեսման համապիտանի մաթեմատիկական մոդել և կատարել դրա քանակական ու որակական վերլուծությունը,

- ❖ ստանալ բնական հունների կայունացած ընդլայնական հատույթը բնութագրող ձևաչափական պարամետրերի որոշման օրինաչափությունները և իրականացնել դրանց համեմատական վերլուծությանը,

❖ մշակված տեսական մոդելի մասնավոր կիրառման միջոցով առաջարկել հաշվարկային եղանակներ գետերի կամրջային անցման տեղամասերում դեֆորմացիաների որոշման և հակասելավային պատնեշների մոտ կուտակված բերվածքների վերին մակերևույթի դիրքի կանխատեսման համար:

ԳԼՈՒԽ 2 . ՈՒՂՂԱԶԻԳ ՀՈՒՆԱՅԻՆ ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԿԱՆԽԱՏԵՍՄԱՆ ՀԱՄԱՊԻՏԱՆԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Հունային ձևափոխությունների հիմնահարցը իր մեջ ներ է առնում հունային երևույթներին վերաբերվող մի շարք խնդիրներ: Այդ ձևափոխությունների կանխատեսման համար մշակված մեթոդների վերաբերյալ գլուխ 1-ում կատարված վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ առկա առաջարկներում դիտարկվել են ձևափոխությունների առանձին, մասնավոր դեպքեր: Բացակայում է հիմնահարցի ընդհանուր դրվածքը և դրան համապատասխան տեսական այնպիսի մոդելի կառուցումը, որը ներկայացնում է ուսումնասիրվող երևույթի բոլոր տեսակները: Դա հնարավորություն կտար տարբեր խնդիրների եզրային և նախնական պայմանները հաշվի առնելով լուծումներ առաջարկել մասնավոր դեպքերի համար: Վերլուծության ընթացքում վեր էին հանվել նաև եղած առաջարկներում առկա հիմնական թերություններն ու սխալները: Օգտագործելով ուսումնասիրվող ասպարեզում առկա փորձը և կատարված վերլուծության արդյունքները ատենախոսական աշխատանքի այս գլխում փորձ է արվում մշակել դեպի կայունացում գնացող ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների կանխատեսման համակիրառելի տեսություն: Նշված նպատակին հասնելու համար այս գլխում անհրաժեշտ է լուծել հետևյալ խնդիրները.

- ❖ սահմանել հիմնահարցի դրվածքը և բացահայտել ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունները պայմանավորող գործոնները,
- ❖ հստակեցնել ուսումնասիրվող երևույթի ֆիզիկական մոդելը և հիմնավորել ընդունված դրույթների հավաստիությունը,
- ❖ մշակել հունաձևափոխությունները նկարագրող մաթեմատիկական համակարգ, հիմնավորել համակարգի հավասարումների կիրառման շրջանակը և ճշտել այդ հավասարումներում առկա կասկածելի անդամների մեծությունները,
- ❖ կատարել հունաձևափոխությունների կանխատեսման համար ստացված լուծումների որակական և քանակական վերլուծություն:

Հիմնահարցի լուծման արդյունքները հնարավորություն կտան հետագա մշակումների միջոցով առաջարկել տարբեր հիդրոտեխնիկական կառուցվածքներում ընթացող հունային երևույթների պարամետրերի հաշվարկային եղանակներ:

2.1 Հիմնախնդրի դրվածքը, սահմանված դրույթները և օգտագործվող հավասարումների հիմնավորումները

Հունային ձևափոխությունների հիմնահարցը իր մեջ ներ է առնում բնական և արհեստական ծագման հունային երևույթներին վերաբերվող մի շարք խնդիրներ: Բնական հունաձևափոխությունների օրինակներից են ջրաբերուկների կուտակման էրոզիոն բազիսի բարձրացման - իջեցման հետևանքով գետաբերաններում հունի հատակի ուղղաձիգ փոփոխումները կամ գետաճյուղավորումների առաջացումը, չորահուններում սելավային և հեղեղային հոսքերի «բերվածքային կոների» գոյացումը, գետերի առանձին տեղամասերում ողողումային երևույթները և այլն: Արհեստական հունային ձևափոխությունները զարգանում են գետերում այս կամ այն հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների տեղակայման ժամանակ: Դրանց օրինակներից են կամրջային անցումներում առաջացող ողողումները, ջրառի գլխամասային հանգույցի պատվարների և հակասելավային պատնեշների դիմաց բերվածքների կուտակումները և այլն: Նշված բոլոր տեսակի ձևափոխությունները մանրամասն նկարագրվել և վերլուծվել են հեղինակի աշխատանքում [78]: Մինչ այժմ նշված երևույթները դիտարկվել են առանձին առանձին և առաջարկվել լավ կամ թերի մասնավոր լուծումներ: Բացակայում են հունային տարատեսակ ձևափոխությունները ընդհանրացնող մոտեցումներ, ընդհանուր երևույթի հիդրոդինամիկական բնույթի բացահայտումներ և դրան նկարագրող մաթեմատիկական համակիրառելի մոդելի կառուցում: Ներկա աշխատանքում փորձ է արվում բացահայտել տարատեսակ հունային ձևափոխությունները միավորող գործոնները, ներկայացնել հիմնահարցի ընդհանրացված դրվածք, սահմանել հիմնարար դրույթներն ու կանխավարկածները և դրանց հիման վրա մշակել քննարկվող երևույթի տեսական նկարագիրը:

Ենթադրենք գետի կամայական տեղամասում բնական կամ արհեստական պատճառներից սկսել են զարգանալ հունի ուղղաձիգ հունաձևափոխություններ: Մինչ երևույթի սկսվելը հոսանքի և հունի հիդրոլոգիական, երկրաչափական և հիդրավլիկական ելքային փաստացի պարամետրերն են.

- հոսանքի և ջրաբերուկների ելքերը, հոսանքի տանողունակությունը - Q , Q_T , S ,
- հունի նախնական երկայնական թեքությունը և հատակի կորդինատը - i_p , z_p ,

• հունաձևափոխությունների տեղամասում հոսանքի նախնական խորությունը և լայնությունը, հատույթի մակերեսն ու թրջված պարագիծը, ինչպես նաև հատույթի միջին արագությունը $-h_p, b_p, A_p, \chi_p, V_p$:

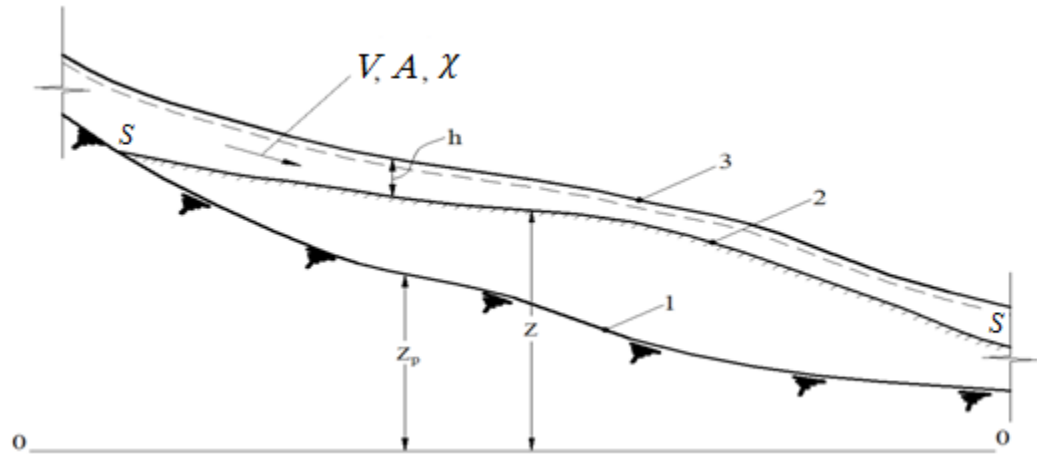
Նշված պարամետրերի մեծությունները նախապես որոշվում են դաշտային հետազոտություններով: Սովորաբար ընդունվում է, որ գետի հաստատված ռեժիմի պայմաններում այդ պարամետրերից առաջին երեքի արժեքները մնում են հաստատուն, իսկ մյուսներինը փոփոխվում են ըստ գետի երկարության:

Հիմնահարցի լուծման արդյունքում որոշման ենթակա են ձևափոխությունների ավարտից հետո առաջացած նոր հունի և նրանով անցնող հոսանքի.

- երկրաչափական բնութագրերը (հատակի z կոորդինատներն ու i թեքությունը),
- հոսանքի հիդրավլիկական պարամետրերը (h խորությունը, հունի b լայնությունը, կենդանի հատույթի A մակերեսը, թրջված χ_p պարագիծն ու միջին V արագությունը):

Անկախ առաջացող պատճառներից (ծագումը բնական է թե պայմանավորված է մարդկային գործոնով), անկախ հունային ձևափոխությունների տեսակից (ջրահոսքում ընթանում է հատակի ողողում թե բերվածքների կուտակում) որոշակի ժամանակ անց հունային փոխությունները սկսում են մարել: Մասնավորապես, եթե հոսանքի արագության մեծացման պատճառով գետի որևէ տեղամասում սկսվել է հատակի ողողման երևույթ, ապա ժամանակի ընթացքում ողողման խորության աճի հետևանքով արագությունները սկսում են նվազել և երևույթը մարում է: Նույն գործընթացն է դիտվելու նաև ջրաբերուկների կուտակման ժամանակ: Այստեղ կուտակումների հետևանքով փոքրանում է հունի հատակի թեքությունը, ինչը ևս բերում է երևույթի մարման: Երկու դեպքերում էլ գետի երկայնքով պետք է վերականգնվի հեղուկ և կոշտ ելքերի հաստատունության պայմանը: Այսինքն ժամանակի ընթացքում հունային փոփոխությունների ոչ ստացիոնար երևույթը վերադառնալու է կայունացած, ստացիոնար վիճակի: Այս պարագայում ձևավորված նոր հունը պետք է ձեռք բերի այնպիսի պարամետրեր, որ նրանով շարժվող հոսանքի համար ապահովված լինի կայունացած ռեժիմը: Հիմնահարցի նման մոտեցումը էապես պարզեցնում է դրա լուծման ընթացքը և երաշխիքներ ստեղծում հուսալի կանխատեսումներ կատարելու համար: Նկարագրված հունային գործընթացների արդյունքում գետի տվյալ

տեղամասում վերջնականապես կձևավորվի ջրահոսքի գործնականում կայունացած նոր հուն, որի երկայնական հատույթը բերված է նկ.2.1 – ում, իսկ նոր հատակը սխեմայում նշված է S-S մակերևույթով:



Նկ. 2.1 Հունաձևափոխություններից հետո կայունացած հունի երկայնական պրոֆիլը

Հունային ձևափոխությունների կայունացված փուլի վերը շարադրված պայմանները և հիմնահարցի դրվածքը հիմք են տալիս փաստելու, որ նոր հունով ընթացող շարժումը բավարար ճշտությամբ կարելի է համարել կայունացած: Դրա նկարագրման համար կարող ենք կիրառել հիդրոդինամիկայի հիմնարար երեք հավասարումները [78, 79].

- էներգիայի հաշվեկշռային կամ հոսանքի անհավասարաչափ շարժման դիֆերենցիալ հավասարումը,
- հեղուկի անխզելիության հավասարումը ,
- բերվածքների կամ կոշտ ելքի հաշվեկշռային հավասարումը:

$$-\left[\frac{dz}{dx} + \frac{dh}{dx} + \frac{d}{dx}\left(\frac{V^2}{2g}\right)\right] = \frac{dh_f}{dx}, \quad (2.1)$$

$$Q = VA = \text{const}, \quad (2.2)$$

$$Q_s = \text{const} \text{ կամ } S = \text{const}, \quad (2.3)$$

որտեղ Q_s -ը բերվածքների ելքն է, S -ը հոսանքում բերվածքների ծավալային մասնաբաժինը (հոսանքի կոնցենտրացիան):

Ուսումնասիրվող թեմատիկայի վերաբերյալ առաջին գլխում կատարված վերլուծության արդյունքում կատարված եզրակացությունների մեջ թվարկվել են այն էական թերությունները, որոնք առկա էին հունային վերակազմավորման մասնավոր խնդիրների լուծումներում: Հունաձևափոխությունների համակիրառելի տեսության մշակումներ կատարելու համար ստորև ներկայացվում են այն կարևոր սկզբունքներն ու դրույթները, որոնք հնարավորություն են տալու խուսափել նշված թերություններից և ստանալ ընդհանուր երևույթի հուսալի մաթեմատիկական նկարագիր:

Գետի հունը և հոսանքը բնութագրող պարամետրերի արժեքները ջրահոսքի երկարությամբ խիստ փոփոխվում են: Ուստի շատ կարևոր է պարզել և հիմնավորել նշված պարամետրերի այն արժեքները, որոնք թելադրում են հունաձևափոխության կայունացող վիճակի հաստատումը: Այդ նպատակով բազմաթիվ բնական դիտարկումներ և ջրաբերուկային ռեժիմը պարզաբանող հետազոտություններ են իրականացվել, որոնք ներկայացված են [59, 79] աշխատանքներում: Դրանց արդյունքների վերլուծությամբ հիմնավորվել է, որ հունային փոփոխությունների կայունացման մեջ ջրահոսքի ելքային պարամետրերի արժեքներից առավել ամբողջական ու երևույթը պայմանավորող են հանդիսանում գետի այն տեղամասի մեծությունները, որտեղ հոսանքի ջրաբերուկային տանողունակությունը (կոնցենտրացիան) ձեռք է բերում սահմանային, առավելագույն արժեք: Իսկ դա նշանակում է, որ գետահունների գոտիավորման ընդունված դասակարգման մեջ բերվածքների տրանզիտային շարժման և կուտակման գոտիների միջև ներմուծվում է նոր՝ «սահմանային տեղամաս» հասկացողությունը: Նշված դրույթի հիմնավորվածությունը ակնհայտ է դառնում գետի երկայնքով հոսանքի տանողունակության վարքը ոչ բարդ վերլուծության ենթարկելու արդյունքում: Գետի այդ տեղամասում պարամետրերը նշանակվում են «զրո» ինդեքսով: Ընդ որում, գետի այս լայնությունը հետագայում օգտագործվում է որպես գծային պարամետրերի չափազրկության մասշտաբ: Բերված մեկնաբանությունը իրավունք է տալիս ընդունելու այն հավաստի կանխավարկածը, որ հոսանքի հեղուկ և կոշտ հաշվային որոշակի

ելքերի պայմաններում ջրահոսքում պիտի լինի այնպիսի սահմանային տեղամաս, որտեղ չպետք է առաջանա ոչ ողողում և ոչ էլ բերվածքների կուտակում: Այսինքն այստեղ առկա է կայունացա, ստացիոնար վիճակ:

Նշված կանխավարկածից կարող ենք կատարել շատ կարևոր հետևություն. եթե ջրահոսքի որևէ տեղամասում սկսված հունային ձևափոխությունները գործնականում արդեն մարել են, ապա հունի և հոսանքի պարամետրերի հաստատված մեծությունները այդտեղ պիտի ուղղակիորեն թելադրված լինեն «սահմանային տեղամասի» պարամետրերի համապատասխան արժեքներով:

Այժմ անդրադառնանք հիմնահարցի մյուս կարևոր խնդրին, այն է ջրաբերուկային ելքի ճիշտ գնահատմանը: Ենթագլխում 1.3-ում հիմնավոր կերպով ցույց է տրվել, որ այդ ելքի որոշման քիչ թե շատ հուսալի առաջարկ մինչ այժմ բացակայում է: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը սույն ատենախոսության մեջ հիմք է ընդունվում այն արդյունքը, որը ստացվել է բերվածքների ելքի բանաձևերի գնահատման և ընդհանրացման վերաբերյալ իրականացված լայնածավալ ուսումնասիրություններում [59]: Այդ աշխատանքում քանակական և որակական վերլուծման են ենթարկվել գրականության մեջ ավելի հաճախ գործածվող շուրջ 40 բանաձևեր, որոնք ընդգրկում են հոսանքի ջրաբերուկային ռեժիմի հնարավոր փոփոխությունները: Ուսումնասիրությունների արդյունքում ջրաբերուկային ելքի կամ հոսանքի կոնցենտրացիայի հաշվեկշռի պայմանից ($Q_s = const$ կամ $S = const$) ստացվել է բերվածքների քանակի որոշման վերաբերյալ բոլոր առաջարկներն ընդհանրացնող հետևյալ օրինաչափությունը [59, 78]

$$\chi = A^a, \quad (2.4)$$

որտեղ a ցուցիչը հաշվի է առնում կոշտ ելքի որոշման բանաձևերի ողջ բազմազանությունը և փոփոխվում է 2,7... 4,5 միջակայքում:

Բերված օրինաչափությունը կիրառելի է հոսանքի տարատեսակ ջրաբերուկային ռեժիմների և հունային բոլոր հնարավոր պայմանների համար: Այսպիսով, հետագա հաշվարկներում որոշակի կասկածելի բանաձև օգտագործելու փոխարեն, որը լավագույն դեպքում կարող է կիրառելի լինել միայն շատ սահմանափակ պայմաններում, կիրառվում է ընդհանրացված օրինաչափություն: Ճիշտ է (2.4)

օրինաչափության ցուցիչը փոխվում է որոշակի միջակայքում, սակայն հունաձևափոխություններին առնչվող խնդիրների լուծումները կիրականացվեն այդ ցուցիչի արժեքների փոփոխման ֆոնի վրա: Ստացված արդյունքներից որպես հաշվարկային կնտրվի ամենառիսկային լուծումը:

Շատ կարևոր դեր ունի նաև շարժման ընթացքում էներգիայի կորուստների որոշմանը խնդիրը: Համաձայն մի շարք լաբորատոր փորձերի արդյունքների հունի մեծ խորդուբորդությունների պայմաններում առկա մեթոդներով էներգիայի ծախսը ստացվում է բավականին ցածր իրական մեծությունից [80, 81]: Հոսանքում զգալի քանակի կոշտ մասնիկների առկայության դեպքում ևս էներգիայի կորուստները բավականին մեծանում են: Այս հետևությանը կարելի հանգել նաև պարզ տրամաբանական վերլուծությամբ: Հոսանքում գտնվող մասնիկները, և հատկապես դրանց ավելի դանդաղ շարժվող հատակային զանգվածը, ստեղծում է լրացուցիչ շփման դիմադրություն, ինչը և բերում է էներգիայի ծախսի զգալի մեծացման: Նկարագրված տեսակի հոսանքներում այս մեծությանը սահմանվում է որպես խորդուբորդության բերված գործակից: Ինչպես ցույց են տալիս բնական և լաբորատոր հետազոտությունների արդյունքները հոսանքում կոշտ և հեղուկ ելքերի հարաբերության փոփոխման 0,05 ... 0,5 միջակայքում հունի խորդուբորդության գործակցի արժեքը մինչև 30% մեծանում է [82, 83]: Հաշվի առնելով նշված փաստը որպես էներգիայի ծախսի գնահատման կարևոր գործոն, ատենախոսության հետագա մշակումներում խորդուբորդության գործակցի որոշման համար ընդունվում է փորձերի տվյալների մշակման արդյունքում ստացված հետևյալ բանաձևը [83]

$$n_c = n \left(1 + 0,85 \cdot S^{\frac{1}{3}} \right), \quad (2.5)$$

որտեղ n – հունի խորդուբորդության գործակիցն է ջրի դեպքում, S հոսանքի սահմանային տանողունակությունը:

Շատ կարևոր է նաև պարզել և սահմանել օգտագործվող հիմնարար (2.1) հավասարման կիրառելիության շրջանակը: Միաֆազ հեղուկի ստացիոնար անհավասարաչափ շարժման համար ստացված այդ հավասարումը հեղուկ և ջրաբերուկների ելքերի հաշվեկշռային (2.2) և (2.3) հավասարումների նման անշուշտ ունի տեսական բավականաչափ խիստ հիմնավորում: Սակայն անհրաժեշտ նաև

հստակեցնել, թե ինչ պայմաններում է թույլատրելի դրանց օգտագործումը երկֆազ հեղուկի համար: Այս հարցի վերաբերյալ [84] աշխատանքում որակական և քանակական հիմնավոր վերլուծություն և մշակումներ են կատարվել: Դրանց համար հիմք է հանդիսացել Վ.Գ. Սանոյանի կողմից առաջարկված չափորոշիչը համաձայն որի հեղուկի շարժման օրենքները, այդ թվում նաև անհավասարաչափ շարժման դիֆերենցիալ հավասարումը, կիրառելի են այն բոլոր դեպքերում, երբ պաշտպանվում է հետևյալ պայմանը [85]

$$\frac{\rho_T \rho}{\rho_c^2} S (1-S) \left(\frac{W}{V} \right)^2 \ll 1, \quad (2.6)$$

որտեղ ρ_c -ն հոսանքի խտությունն է, V -ն հոսքի շարժման արագություն, W -ն ջրաբերուկների հիդրավլիկական խոշորություն.

Անհավասարության գործնական կիրառման միջակայքը պարզելու նպատակով [84] աշխատանքում օգտագործվել են չափորոշիչում առկա պարամետրերի սահմանումներ և մեծությունների որոշման ակնհայտ կապեր: Մասնավորապես, հաշվի առնելով, որ ջրի խտությունը $\rho = 1000$ կգ/մ³, իսկ բերվածքներինը՝ $\rho_T = 2650$ կգ/մ³, երկֆազ հոսքի խտությունն կարտահայտվի՝

$$\rho_c = \rho (1,65S + 1): \quad (2.7)$$

Այստեղից (2.6) անհավասարությունը կգրվի

$$\frac{2,65S (1-S)}{(1,65S + 1)^2} \left(\frac{W}{V} \right)^2 \ll 1: \quad (2.8)$$

Այնուհետև օգտագործելով ջրաբերուկների հիդրավլիկական խոշորության, հոսանքի միջին և դինամիկ արագությունների հայտնի կապերը և Կարմանի գործակցի առավելագույն արժեքը (2.8) անհավասարությունը ներկայացվում է

$$\frac{2,65S (1-S)}{(1,65S + 1)^2} \frac{1,6}{C^2} \ll 1: \quad (2.9)$$

Անհավասարության ձախ մասի առաջին կոտորակի փոփոխությունը ըստ ծավալային S կոնցենտրացիայի ներկայացված է աղյ. 2.1 - ում :

$\frac{2,65S(1-S)}{(1,65S+1)^2}$ կոտորակի արժեքների փոփոխությունը ըստ S .

S	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\frac{2,65S(1-S)}{(1,65S+1)^2}$	0,107	0,176	0,24	0,25	0,23	0,20

Աղյ.2.1-ի տվյալների վերլուծությունը պարզ ցույց է տալիս, որ հոսանքի կոնցենտրացիայի $0 < S \leq 0.5$ ինտերվալում դիտարկվող կոտորակը, ինչպես նաև S -ի մեծությունը զգալի փոքր են մեկից: Ընդունելով $S = 1$ (ի վնաս անհավասարության) ի վերջո (2.6) չափորոշիչը բերվում է հետևյալ պարզ տեսքի

$$\frac{1,6}{C^2} \ll 1: \quad (2.10)$$

Բնական ջրահոսքերում Շեգիի գործակիցի արժեքի համար կարելի է նշել, որ $C > 30$: Այսպիսով, չնայած մի շարք անբարենպաստ ընդունելությունների՝ բոլորն էլ ի վնաս (2.10) արտահայտությանը, կոնցենտրացիայի մինչև 0,5 արժեքների դեպքում (2.6) չափորոշիչ անհավասարությանը ապահովված է:

Այսպիսով, կարելի է արձանագրել, որ հոսանքի կոշտ և հեղուկ բաժնեմասերի հարաբերության լայն միջակայքում (0...0,5) միաժառ հոսանքի շարժման հավասարումները կիրառելի են նաև երկֆազ հեղուկների համար:

2.2 Կայունացող ուղղաձիգ հունաձևափոխությունների մաթեմատիկական մոդելը

Այսպիսով կարող ենք գրանցել, որ իրականացվել են .

- հունային ձևափոխություններն ուղեկցող հիդրոդինամիկական երևույթների խորը և ամբողջական պարզաբանում,

- երևույթը պայմանավորող կարևոր գործոնների բացահայտում ու դրանց ազդեցության հիմնավորում,

- ինչպես նաև հունակազմական մասնավոր խնդիրների լուծումներում առկա հիմնական թերությունների վերացում:

Կատարված այս աշխատանքների արդյունքում հնարավոր դարձավ առաջարկել հիմնահարցի նոր ու պարզ ֆիզիկական մոդել, որը բնութագրում է հունային ձևափոխությունների վերջնական արդյունքը: Այդ պայմաններում խնդրի լուծումը հանգում է ստացիոնար դարձած երևույթի պայմաններում հոսանքի շարժման մաթեմատիկական մոդելի կառուցմանը: Նման մոտեցումը նախադրյալներ է ստեղծում խուսափել ոչ կայունացած երևույթների նկարագրումից, որում օգտագործվում են ճշտության տեսակից կասկածելի և բարդ մաթեմատիկական մոդելներ: Նկատի ունենալով ենթագլուխ 2.1-ում բերված հիմնավորումներն ուսումնասիրվող երևույթի նկարագրման համար կիրառված (2.1)-(2.3) հավասարումները կարող ենք ներկայացնել

$$\frac{dz}{dx} + \frac{dh}{dx} + \frac{d}{dx} \left(\frac{V^2}{2g} \right) = \frac{V^2}{C^2 R}, \quad (2.11)$$

$$A \cdot V = \text{const}, \quad (2.12)$$

$$\chi = A^a: \quad (2.13)$$

(x-ի դրական առանցքը ընդունվել է հոսանքի շարժմանը հակառակ).

Հետագա աշխատանքների հարմարության և ստացվելիք արդյունքների համակիրառելիության նպատակով հավասարումները հարմար է ներկայացնել չափազուրկ տեսքով: Որպես գծային մասշտաբ է ընտրվում հունի «սահմանային տեղամասի» b_0 լայնությունը : Այդ դեպքում կունենանք.

$$\bar{x} = \frac{x}{b_0}, \quad \bar{h} = \frac{h}{b_0}, \quad \bar{b} = \frac{b}{b_0}, \quad \bar{z} = \frac{z}{b_0}, \quad \bar{A} = \frac{A}{A_0}, \quad \bar{\chi} = \frac{\chi}{\chi_0}, \quad \bar{R} = \frac{R}{R_0} = \frac{\bar{A}}{\bar{\chi}}, \quad \bar{V} = \frac{V}{V_0} = \frac{1}{\bar{A}}, \quad \bar{C} = \frac{C}{C_0} \quad :$$

«Զրո» ինդեքսով մեծությունները վերագրված են ջրահոսքի i_0 թեքություն ունեցող «սահմանային տեղամասին»:

Օգտագործելով չափազուրկ պարամետրերը (2.11) - (2.13) հավասարումներում և կատարելով որոշակի ձևափոխություններ ստացվում է հետևյալ համակարգը.

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} - \frac{Fr_0}{\beta_0} \frac{d\bar{A}}{\bar{A}^3} = \frac{i_0}{\bar{C}^2} \frac{\bar{V}^2}{\bar{R}}, \quad (2.14)$$

$$\bar{A} \cdot \bar{V} = 1, \quad (2.15)$$

$$\bar{\chi} = \bar{A}^a, \quad (2.16)$$

որտեղ Fr_0 -ն Ֆրուդի թիվն է, β_0 - ն հոսանքի լայնության և խորության հայտնի հարաբերությունն է սահմանային տեղամասում:

Հավասարումների վերջին համակարգում առկա է վեց անհայտ.

- ձևափոխված հունի հատակի կոորդինատը՝ z ,
- այդ հունով շարժվող հոսանքի խորությունը՝ h ,
- կենդանի հատույթի մակերեսը՝ A ,
- միջին արագությունը՝ V ,
- հիդրավլիկական շառավիղը՝ R (կամ թրջված պարագիծը՝ χ),
- Շեզիի գործակիցը՝ C :

Փորձենք ձևափոխել (2.14) հավասարման աջ մասում գտնվող հիդրավլիկական դիմադրությունների վրա ծախսվող էներգիայի չափազուրկ մեծությունը՝ օգտվելով մի շարք հայտնի բանաձևերից և օրինաչափություններից: Համաձայն Մաննինգի բանաձևի, (2.16) կապի և չափազուրկ մեծությունների կարող ենք գրել

$$i_0 \frac{\bar{V}^2}{C^2 \bar{R}} = \frac{i_0 \bar{n}_c^2}{\bar{A}^2 (\bar{A}/\bar{\chi})^{4/3}} = i_0 \bar{n}_c^2 \bar{A}^{(4a-10)/3}, \quad (2.17)$$

որտեղ $\bar{n}_c$ - հունի խորդուբորդության բերված գործակցի հարաբերական մեծությունն է՝ $\bar{n}_c = n_c / n_0^c$:

Նկատի ունենալով (2.5) օրինաչափությունը և բնական հոսների խորդուբորդության գործակցի որոշման համար առաջարկված Շտրիկլեր-Չանգի բանաձևը [86], կարող ենք գրել

$$\bar{n}_c = \frac{0,05 d_{OT}^{1/6} (1 + 0,85 \cdot S^{1/3})}{0,05 (d_{OT}^0)^{1/6} (1 + 0,85 \cdot S_0^{1/3})}: \quad (2.18)$$

Քանի որ առկա է բերվածքների քանակի հաստատունության պայմանը հունի երկայնքով ($S = S_0$), ապա վերջին արտահայտության փոխարեն կունենանք

$$\bar{n}_c = \left(\frac{d_{OT}}{d_{OT}^0} \right)^{1/6} = \bar{d}_{OT}^{1/6}, \quad (2.19)$$

որտեղ $\bar{d}_{OT}$ - հունը կազմող գրունտի մասնիկների միջին չափազուրկ տրամագիծն է:

Հաշվի առնելով (2.19) արտահայտությունը էներգիայի կորուստների (2.17) հավասարումը կարելի է ներկայացնել միայն կենդանի հատույթի A մակերեսից կախված օրինաչափությամբ.

$$i_0 \frac{\bar{V}^2}{\bar{C}^2 \bar{R}} = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{A}^{(4a-10)/3} : \quad (2.20)$$

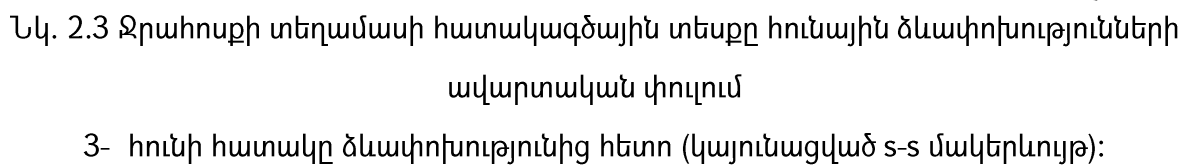
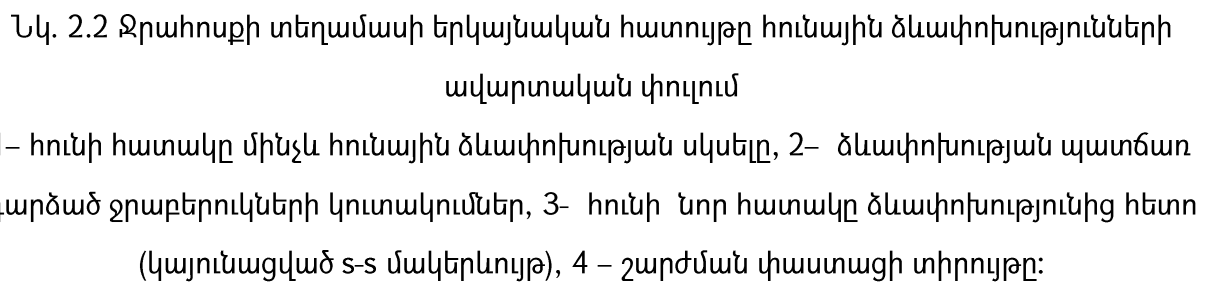
Այսպիսով կայունացող հունաձևափոխությունների նկարագրման համար (2.1) - (2.3) հավասարումների համակարգի համատեղ լուծման ընթացքում օգտագործելով մի շարք հայտնի և հուսալի օրինաչափություններ ստանում ենք հետևյալ չափազուրկ գծային դիֆերենցիալ հավասարումը.

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} - \frac{Fr_0}{\beta_0 \bar{A}^3} \frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{A}^{(4a-10)/3} : \quad (2.21)$$

Այն ընդհանրացնում է էներգիայի, հոսանքի հեղուկ և կոշտ բաղադրիչների հաշվեկշռային հիմնարար հավասարումները, ինչպես նաև ջրաբերուկային ռեժիմն ու հունային պայմանները ներկայացնող մի շարք կապեր և օրինաչափություններ: Հավասարումը կապ է հաստատում գետի կայունացած տեղամասում նոր հունի $S-S$ հատակի $\bar{z}$ կորդինատների, այդ հունով շարժվող հոսանքի $\bar{h}$ խորության և կենդանի կտրվածքի $\bar{A}$ մակերեսի միջև (նկ.2.2 և նկ.2.3): Այսինքն հավասարման մեջ արդեն մնացել է երեք անհայտ: Նրանում առկա մյուս մեծությունները կամ ելքային են, կամ դասական մեթոդներով որոշվում են վերջիններիս միջոցով: Ստացված հավասարումը համակիրառելի է, քանի որ տարածվում է.

- բնական և արհեստական ծագման հունաձևափոխությունների,
- հոսանքի տարբեր ջրաբերուկային ռեժիմների (ցածր հագեցված հոսանքներից մինչև տուրբուլենտ սելավներ),
- հուների տարատեսակ ընդլայնական հատույթների (ուղղանկյունաձև, սեղանաձև և այլն) պայմանների վրա:

Հետագա լուծումները շարունակելու համար անհրաժեշտ է որոշակիացնել հունի ընդլայնական հատույթի ձևը, ինչը հնարավորություն կտա կապեր հաստատել



46

երկարության, այսինքն $A = f(h, x)$, մակերեսի ածանցիալը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$\frac{dA}{dx} = \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial h} \frac{dh}{dx} : \quad (2.22)$$

Հաշվի առնելով չափազուրկ պարամետրերը, կունենանք

$$\frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} = \frac{\partial \bar{A}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{A}}{\partial \bar{h}} \frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} : \quad (2.23)$$

Տեղադրելով մակերեսի ածանցիալի արժեքը (2.21), հավասարման մեջ, կստանանք

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} - \frac{Fr_0}{\beta_0 \bar{A}^3} \left(\frac{\partial \bar{A}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{A}}{\partial \bar{h}} \frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} \right) = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{A}^{(4a-10)/3} : \quad (2.24)$$

Ստացված հավասարումից հետևում է, որ խնդիրը չի կարող լուծվել առանց հունի լայնական կտրվածքի տեսքի հստակեցման: Ջրահոսքի լայնական կտրվածքի ամբողջ բազմազանությունը սովորաբար ներկայացվում է ուղղանկյուն, պարաբոլիկ կամ սեղանաձև տեսքերով: Քանի որ վերջին երկու տեսքերի դեպքում հունի լայնությունը փոփոխվում է ըստ խորության, ապա $\partial \bar{A} / \partial \bar{h}$ մասնակի ածանցիալը փոփոխման օրենքից ստացվում է որպես կենդանի կտրվածքի որոշակի լայնություն: Երբ հունի կտրվածքը ուղղանկյունաձև է լայնությունը տվյալ կտրվածքի համար դառնում է հաստատուն: Ինչ վերաբերվում է $\partial \bar{A} / \partial \bar{x}$ մասնակի ածանցիալին, ապա այն կարող է որոշվել միայն հունի հատակագծային հայտնի օրինաչափության դեպքում: Հետևաբար, (2.24) հավասարման լուծման համար բացի լայնական կտրվածքի տեսքից պետք է հայտնի լինի նաև ձևափոխություններից հետո կայունացած նոր, ոչ պրիզմատիկ հունի պատերի փոփոխման օրինաչափությունը: Հաշվի առնելով այս հանգամանքը խնդրի հետագա լուծումները կարող են պարզեցվել, եթե հնարավոր լինի հատույթի A և h պարամետրերը փոխարինել հունի b լայնության միջոցով: Այս դեպքում կարիք չի լինի փնտրել մասնակի ածանցիալներով (2.24) հավասարման լուծման ուղին, այլ (2.21) հավասարման հիմքով կմշակվի ավելի դյուրին ելք:

Մասնավոր դեպքի՝ a ցուցիչի 3,5 արժեքի համար հատույթի A և h պարամետրերը b լայնության միջոցով արտահայտելու ուղղությամբ հեղինակի կատարված ուսումնասիրությունները շարադրված են [78] աշխատանքում: Այժմ համանման մշակումներ համառոտ ներկայացնենք ընդհանուր դեպքի համար,

որոնցում հաշվի կառնվի σ ցուցիչի փոփոխման ողջ տիրույթը: Ստորև բերվող մշակումները վերաբերվում են հունի սեղանաձև հատույթին, որպես բնութայնում ավելի հաճախ հանդիպող դեպք (նկ.2.4): Հունի մյուս ընդլայնական տեսքերի համար մշակումները նմանատիպ են:

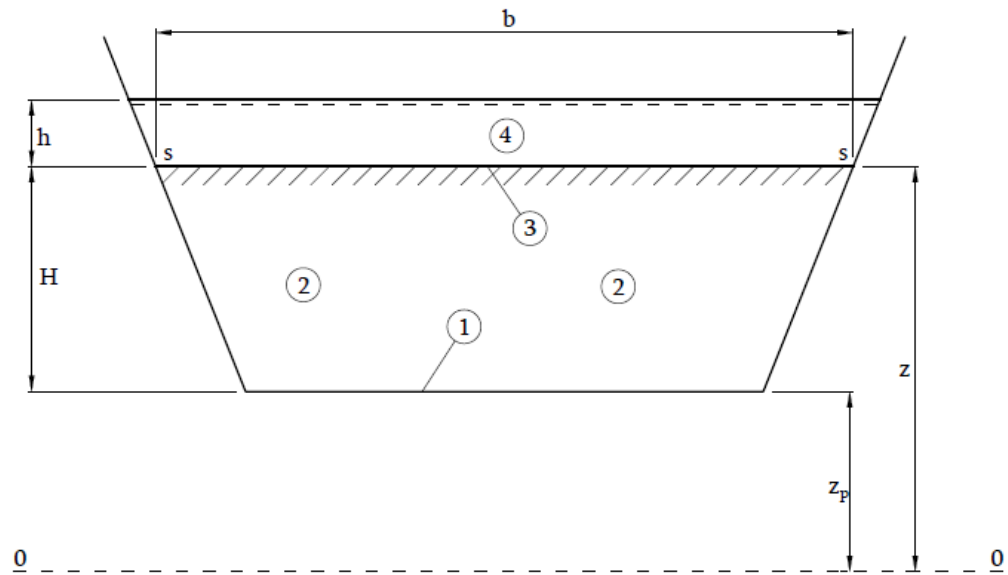
Համաձայն ուսումնասիրվող երևույթի ֆիզիկական նկարագրի հունային ձևափոխությունների կայունացումից հետո կազմավորվում է S-S մակրևույթով նշված նոր հատակ (նկ.2.2-ի և 2.4-ի դիրք 3-ը): Հետագա հոսանքները շարժվում են ձևավորված այդ մակերևույթի վրայով: Քանի որ հունի հատույթը սեղանաձև է, ապա շարժման տեղամասը նույնպես կլինի այդ տեսքի (նկ.2.4, դիրք 4):

Հետագա մշակումները էապես պարզեցնելու նպատակով կատարվում է աննշան սխալ պարունակող ընդունելիություն՝ շարժման տեղամասը սեղանաձևի փոխարեն դիտվում է ուղղանկյունաձև: Դա նշակակում է, որ լայնական կտրվածքում անտեսվում են ավերին կից մզացված եռանկյունները (նկ.2.4, դիրք 5): Ջրահոսքում b/h հարաբերության փոփոխման տիրույթը մեծամասամբ 6-15 սահմաններում է: Պարզ հաշվարկով կարելի է ցույց տալ, որ առանց շոշափելի սխալի կենդանի կտրվածքի ընդհանուր A մակերեսի համեմատ այդ եռանկյունների մակերեսների գումարը կարելի է անտեսել: Շեշտենք, որ կատարված այս ընդունելիությունը վերաբերվում է միայն հոսանքի շարժման տիրույթին, բայց ոչ հունակազմության երևույթի մյուս գործընթացներին: Ուղղանկյունաձև լայնական կտրվածքի դեպքում հունի կենդանի կտրվածքի մակերեսի և թրջված պարագիծի չափազուրկ մեծությունների համար ստացվում են.

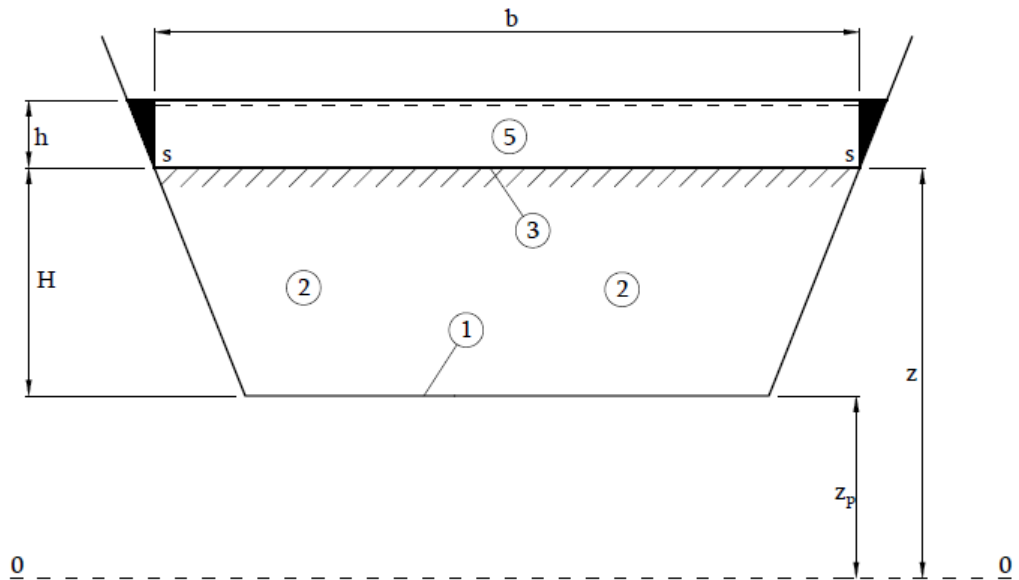
$$\bar{A} = \beta_0 \cdot \bar{b} \cdot \bar{h}, \quad (2.25)$$

$$\bar{\chi} = \frac{\beta_0}{\beta_0 + 2} (\bar{b} + 2\bar{h}), \quad (2.26)$$

որտեղ β_0 - հիդրավլիկայում հայտնի հարաբերություն է b_0/h_0 .



ա)



բ)

Նկ. 2.4 Կայունացած հունի լայնական հատույթի սխեմատիկ տեսքը

ա) հատույթի փաստացի սխեման, բ) հատույթի հաշվարկային սխեման

1- հունի հատակը մինչև հունային ձևափոխությունը, 2- ձևափոխության պատճառ դարձած ջրաբերունների կուտակումներ, 3- հունի նոր հատակը ձևափոխությունից հետո (կայունացված s-s մակերևույթ), 4 – շարժման փաստացի տիրույթը (սեղանաձև): 5 – շարժման հաշվարկային տիրույթը (ռոդանկյունաձև):

Հաշվի առնելով (2.4) օրինաչափությունը, համատեղ լուծելով (2.25) և (2.26) հավասարումները և կատարելով մի շարք պարզեցումներ, հոսանքի խորության և լայնության միջև կստանանք հետևյալ չափագուրկ արտահայտությունը:

$$\bar{h} = \frac{1}{\beta_0} \frac{1}{\bar{b}^{a-1/a}} : \quad (2.27)$$

Համապատասխանաբար հատույթի մակերեսի և միջին արագության չափագուրկ մեծությունների համար ստացվում են.

$$\bar{A} = \bar{b}^{1/a} : \quad (2.28)$$

$$\bar{V} = \frac{1}{\bar{b}^{1/a}}. \quad (2.29)$$

Ըստ (2.27) և (2.28) արտահայտությունների հոսանքի խորության և հատույթի մակերեսի ածանցիալների համարը ստացվում են

$$\frac{d\bar{h}}{d\bar{x}} = -\frac{a-1}{a\beta_0} \frac{1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}}, \quad (2.30)$$

$$\frac{d\bar{A}}{d\bar{x}} = \frac{1}{a\bar{b}^{(a-1)/a}} \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}}. \quad (2.31)$$

Նկատի ունենալով (2.28) կապը և (2.30) ու (2.31) ածանցիալների մեծությունները (2.21) դիֆերենցիալ հավասարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} - \frac{a-1}{a\beta_0} \frac{1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} - \frac{Fr_0}{\beta_0 a} \frac{1}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{(4a-10)/3a}, \quad (2.32)$$

կամ

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} - \frac{1}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{(4a-10)/3a} : \quad (2.33)$$

Այսպիսով ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների հիմնահարցի լուծման նպատակով կատարված ուսումնասիրությունների ընթացքում.

❖ պարզաբանվեց և հիմնավորվեց երևույթի ֆիզիկական նկարագիրը ավարտական փուլում, որը հունաձևափոխության հիմնական արդյունքն է,

❖ դրա հիման վրա սահմանվեց հիմնահարցի սկզբունքորեն նոր, ընդհանրացված դրվածք և հիմնավորվեցին ընդունված դրույթներն ու կանխավարկածները,

❖ պարզաբանվեցին և հիմնավորվեցին հունային ձևափոխությունների մաթեմատիկական մոդելավորման հայեցակարգն ու հավասարումների կիրառելիության սահմանները, ճշգրտվեցին երևույթը պայմանավորող մի շարք մեծություններ: Դրանց հիման վրա մշակվեց ուղղաձիգ հունաձևափոխությունների նկարագրման համակիրառելի մաթեմատիկական մոդել,

Տեսական մշակումների արդյունքում առաջարկվեց երևույթի վերջնական արդյունքը նկարագրող համապիտանի (2.32) կամ (2.33) հավասարումը: Դրա միջոցով կապ է հաստատվել ձևափոխված հունի հատակի կոորդինատի և հունի լայնության միջև ջրահոսքի այն տեղամասում, որտեղ հունային փոփոխությունների հետևանքով կազմավորվել է նոր կայունացված հուն և ձևավորվել կայունացված, բայց ոչ հավասարաչափ շարժում: Հավասարումը ստացվեց հիդրոդինամիկայի հիմնարար հաշվեկշռային հավասարումների համատեղ լուծմամբ, որոնք կիրառելի են փոքր խորության հոսքի պայմաններում: Հավասարումը հունային ձևափոխությունների վերաբերվող մասնավոր խնդիրներում օգտագործելու համար անհրաժեշտ է ունենալ տվյալ խնդրի նախնական և եզրային պայմանները, որոնք հնարավորություն կտան պարզել հունի լայնության փոփոխման օրինաչափությունը (օրինակ, սովորաբար տրվում է կամրջային անցումների լայնության փոփոխման օրենքը) կամ մեկ այլ խնդրում հնարավոր է պարզել Z և b մեծությունների կապը (օրինակ, նկ.2.4-ում այդ կապը առկա է երկրաչափական օրենքներից):

Ներկայացված եղանակով կենդանի հատույթի պարամետրերի միջև կապեր կարելի է ստանալ նաև պարաբոլաձև, շրջանաձև կամ ավելի բարդ հատույթների հունների համար: Այդ դեպքերում (2.25) և (2.26) օրինաչափությունների փոխարեն պետք է օգտագործել տվյալ պատկերների համապատասխան երկրաչափական կապերը: Ինտեգրման համար անհրաժեշտ եզրային պայմաններն ընտրելիս պետք է հաշվի առնվեն մասնավոր խնդիրը ճիշտ բնութագրող գործոնները:

2.3 Հունաձևափոխությունները նկարագրող համապիտանի հավասարման քանակական վերլուծությունը

Ստացված արդյունքի վերլուծություն կատարելու համար (2.32) հավասարումը ներկայացնենք հետևյալ տեսքի

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = \frac{a-1}{a\beta_0} \frac{1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} + \frac{Fr_0}{a\beta_0} \frac{1}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} + i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{(4a-10)/3a} : \quad (2.34)$$

Այս հավասարման ձախ մասը իրենից ներկայացնում է հունի նոր ձևավորված հատակի թեքությունը: Աջ մասը իրենից ներկայացնում է այդ թեքությունը պայմանավորող երեք գործոնների գումարը: Մասնավորապես.

- առաջին գումարելին հաշվի է առնում հոսանքի խորության փոփոխությունից եկող ազդեցությունը թեքության վրա,
- երկրորդ գումարելին՝ շարժման կինետիկ էներգիայի փոփոխությունից,
- վերջին գումարելին հիդրավլիկական թեքությունն է և հաշվի է առնում նոր հունով շարժվող հոսանքի էներգիայի փոփոխության ազդեցությունը:

Նշված երեք գործոններից առաջին երկուսը (2.34) հավասարման մեջ ներկայացված են չափազուրկ լայնության ածանցիալի, իսկ վերջին գործոնը՝ սահմանային տեղամասի հատակի թեքության (Z_0 կոորդինատի ածանցիալ) և իրենց համապատասխան գործակիցների արտադրյալների միջոցով: Պարզության համար այդ գործակիցների համար կատարենք նշանակումներ.

$$EH = \frac{1}{a\beta_0} \frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} , \quad (2.35)$$

$$EK = \frac{1}{a\beta_0} \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} , \quad (2.36)$$

$$EF = \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{(4a-10)/3a} : \quad (2.37)$$

Ակնհայտ է որ (2.34) հավասարման աջ մասի վերջին գումարելին միշտ դրական է: Իսկ առաջին և երկրորդները՝ կախված $\frac{d\bar{b}}{d\bar{x}}$ ածանցիալի նշանից կարող են լինել և դրական և բացասական: Ուսումնասիրվող երևույթի ելքային a , β_0 և Fr_0

պարամետրերի իրատեսական արժեքների լայն միջակայքում կատարվել է EH , EK և EF մեծությունների հնարավոր փոփոխությունների հաշվարկային գնահատում ըստ հունի չափազուրկ լայնության փոփոխության: Համաձայն բնական դիտարկումների նոր հունի հատակը կազմող գրունտի չափազուրկ տրամագիծը, առավել ևս դրա $\bar{d}_{OT}^{1/3}$ արժեքը հաշվարկներում ընդունվել է հավասար մեկի: Հաշվարկների արդյունքների վերլուծությունը ցույց տվեց, որ ազդող մյուս գործոնների հաստատունության դեպքում β_0 և Fr_0 մեծությունների բավականաչափ մեծ փոփոխությունը գործնական առումով չի ազդում EH և EK գործակիցների մեծության վրա: Վերջիններիս հիմնական փոփոխությունը առաջ է գալիս σ ցուցիչի փոփոխությունից: Հաշվի առնելով այդ հանգամանքը ատենախոսության մեջ ներկայացվում են հոսանքի խորության և կինետիկ էներգիայի ածանցիալների մեծությունները պայմանավորող EH և EK գործակիցների, ինչպես նաև հիդրավլիկական կորուստները պայմանավորող EF գործակցի արժեքների որոշման համար կատարված ծավալուն հաշվարկների և դրանց գրաֆիկական արտահայտման արդյունքների մի փոքր մասը: Այստեղ նշենք, որ հաշվարկի այդ փոքր մասի արդյունքների որակական և քանակական վերլուծության գնահատականները և հետևությունները ամբողջովին համընկնում են հաշվարկների ողջ ծավալի համար կատարված վերլուծության արդյունքների հետ: Աղյ.2.2-2.7-ում բերված են հաշվարկների բնորոշ այդ փոքր մասը, իսկ նկ.2.5- 2.10-ում՝ դրանց համապատասխան գրաֆիկները:

Բերված աղյուսակային տվյալներից և գրաֆիկներից երևում է, որ հոսանքի խորության և կինետիկ էներգիայի ածանցիալների EH և EK գործակիցների մեծությունները ելքային պարամետրերի բոլոր արժեքների դեպքում որոշակի փոփոխություն են կրում միայն հունի չափազուրկ լայնության $0 - 1$ միջակայքում:

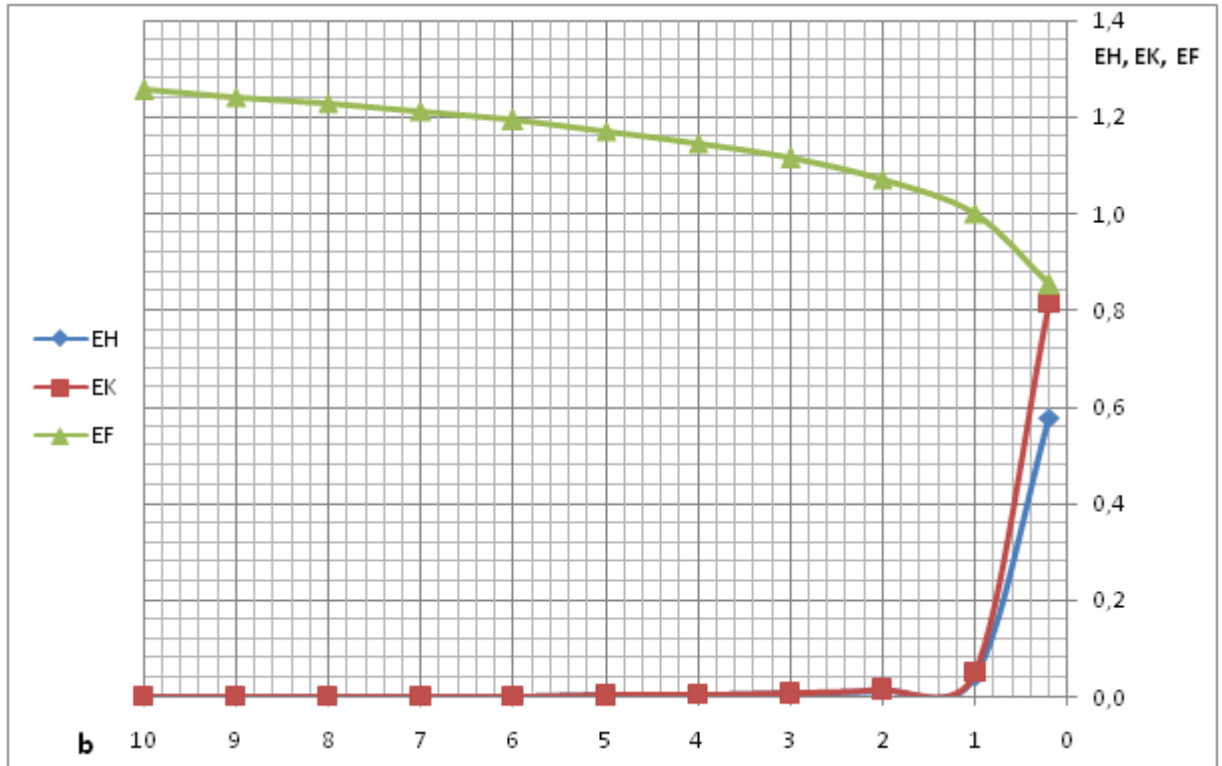
Դրանից հետո երկուսն էլ շատ արագ նվազելով գործնականում դառնում են շատ փոքր արժեքներ ունեցող հաստատուն (աղյ.2.2 - 2.7): Դրանց կողքին էներգիայի կորուստների EF գործակիցը, որը կախված չէ ելքային β_0 և Fr_0 պարամետրերից, լայնության մեծացումից մոնոտոն աճում է, ինչը և հետևում է (2.32) հավասարումից: Ընդ որում, այդ գործակցի արժեքները աճում են նաև σ ցուցիչի մեծացմանը

զուգընթաց, և այդ աճի վարքը ըստ լայնության՝ a - ի մեծացման հետ դառնում է բավական շոշափելի:

Աղյուսակ 2.2

EH , EK և EF գործակիցների արժեքները՝ կախված հունի լայնությունից, երբ $\bar{d}_{OT} = 1$; $a = 2,7$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 2$

h/h	$\bar{b}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}}$	$\bar{b}^{(4a-10)/3a}$
1	0,2	0,578	0,813	0,853
2	1	0,042	0,049	1,000
3	2	0,014	0,015	1,071
4	3	0,007	0,007	1,115
5	4	0,004	0,004	1,147
6	5	0,003	0,003	1,172
7	6	0,002	0,002	1,194
8	7	0,002	0,002	1,212
9	8	0,001	0,001	1,228
10	9	0,001	0,001	1,242
11	10	0,001	0,001	1,255

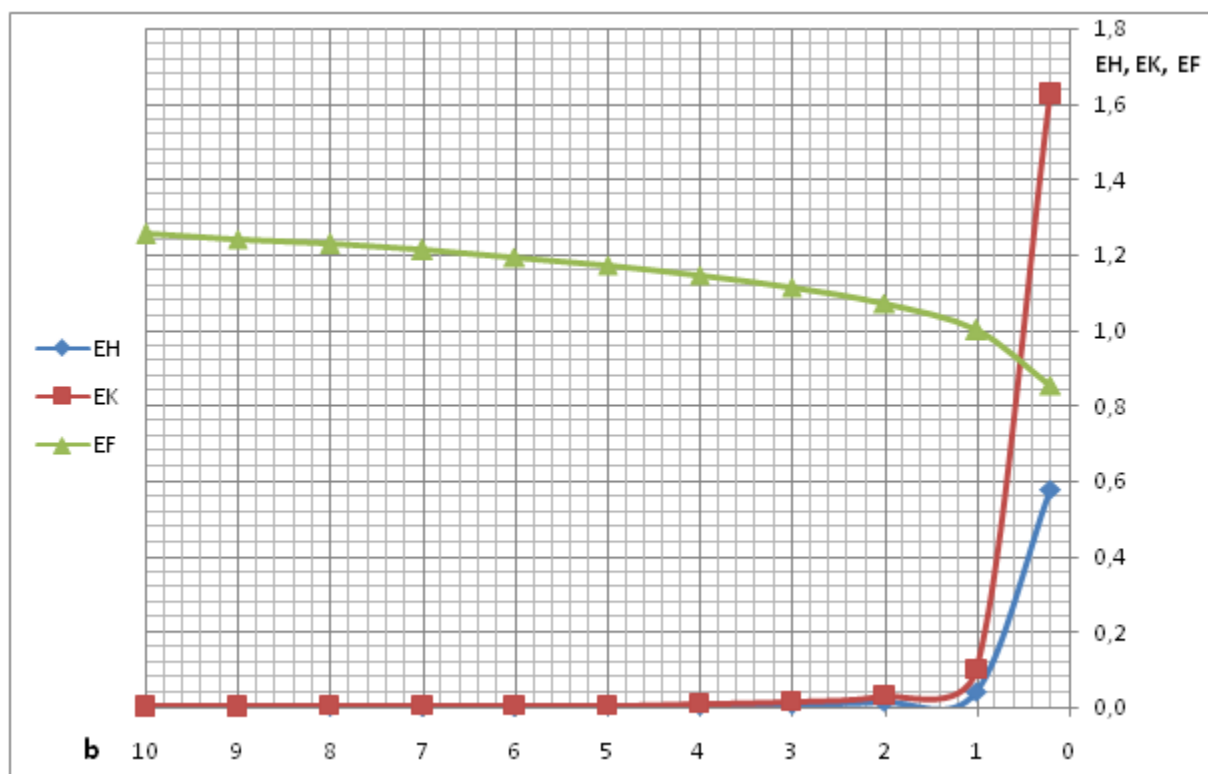


Նկ. 2.5 EH , EK և EF գործակիցների փոփոխման գրաֆիկները ըստ հունի լայնության, երբ $\bar{d}_{OT} = 1$; $a = 2,7$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 2$:

Աղյուսակ 2.3

EH, EK և EF գործակիցների արժեքները՝ կախված հունի լայնությունից, երբ $\bar{d}_{or} = 1$; $a = 2,7$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 4$:

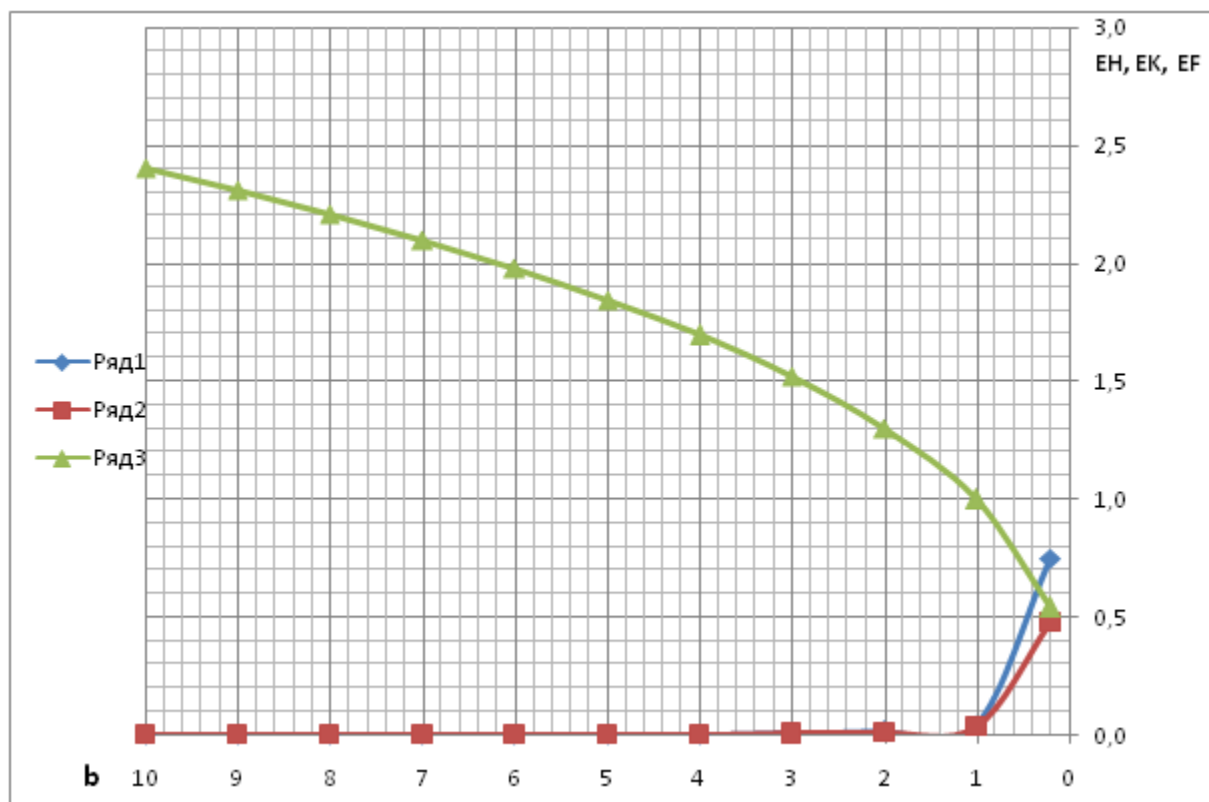
h/h	$\bar{b}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}}$	$\frac{\bar{b}^{(4a-10)/3a}}{3a}$
1	0,2	0,578	1,627	0,853
2	1	0,042	0,099	1,000
3	2	0,014	0,030	1,071
4	3	0,007	0,015	1,115
5	4	0,004	0,009	1,147
6	5	0,003	0,006	1,172
7	6	0,002	0,004	1,194
8	7	0,002	0,003	1,212
9	8	0,001	0,003	1,228
10	9	0,001	0,002	1,242
11	10	0,001	0,002	1,255



Նկ. 2.6 EH, EK և EF գործակիցների փոփոխման գրաֆիկները ըստ հունի լայնության, երբ $\bar{d}_{or} = 1$; $a = 2,7$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 4$:

EH, EK և EF գործակիցների արժեքները՝ կախված հունի լայնությունից, երբ $\bar{d}_{or} = 1$; $a = 3,5$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 2$:

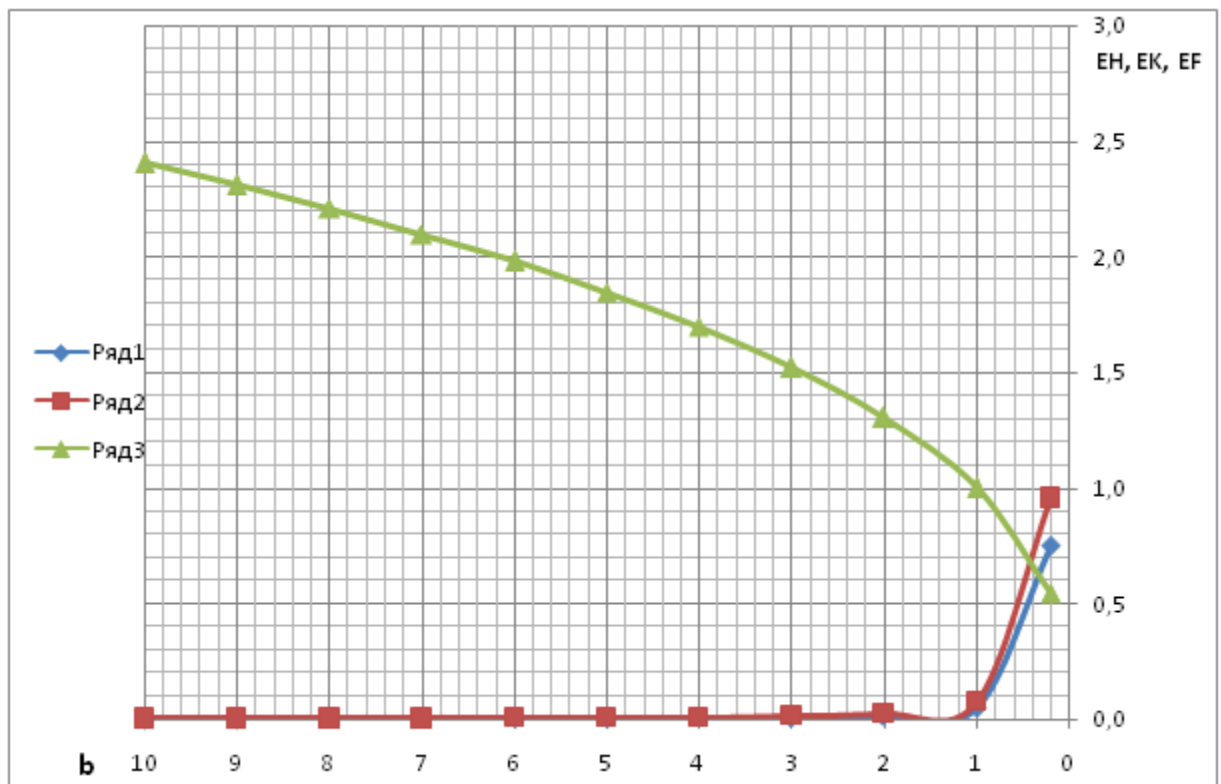
h/h	$\bar{b}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}}$	$\bar{b}^{(4a-10)/3a}$
1	0,2	0,752	0,478	0,542
2	1	0,048	0,038	1,000
3	2	0,015	0,013	1,302
4	3	0,007	0,007	1,520
5	4	0,004	0,004	1,696
6	5	0,003	0,003	1,846
7	6	0,002	0,002	1,979
8	7	0,002	0,002	2,099
9	8	0,001	0,001	2,208
10	9	0,001	0,001	2,310
11	10	0,001	0,001	2,404



Նկ. 2.7 EH, EK և EF գործակիցների փոփոխման գրաֆիկները ըստ հունի լայնության, երբ $\bar{d}_{or} = 1$; $a = 3,5$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 2$:

EH, EK և EF գործակիցների արժեքները՝ կախված հունի լայնությունից, երբ $\bar{d}_{or} = 1$; $a = 3,5$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 4$:

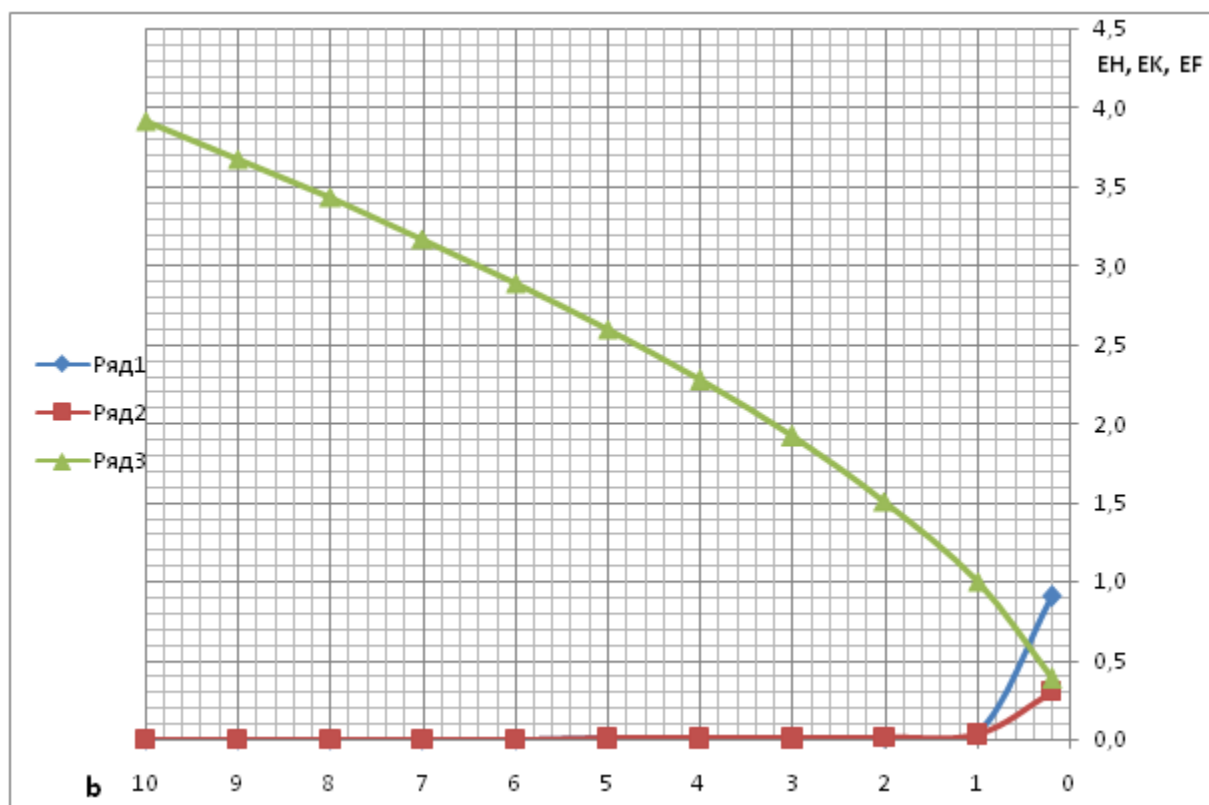
h/h	$\bar{b}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}}$	$\frac{\bar{b}^{(4a-10)/3a}}{3a}$
1	0,2	0,752	0,956	0,542
2	1	0,048	0,076	1,000
3	2	0,015	0,026	1,302
4	3	0,007	0,014	1,520
5	4	0,004	0,009	1,696
6	5	0,003	0,006	1,846
7	6	0,002	0,005	1,979
8	7	0,002	0,004	2,099
9	8	0,001	0,003	2,208
10	9	0,001	0,002	2,310
11	10	0,001	0,002	2,404



Նկ. 2.8 EH, EK և EF գործակիցների փոփոխման գրաֆիկները ըստ հունի լայնության, երբ $\bar{d}_{or} = 1$; $a = 3,5$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 4$:

EH, EK և EF գործակիցների արժեքները՝ կախված հունի լայնությունից, երբ $\bar{d}_{OT} = 1$; $a = 4,5$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 2$:

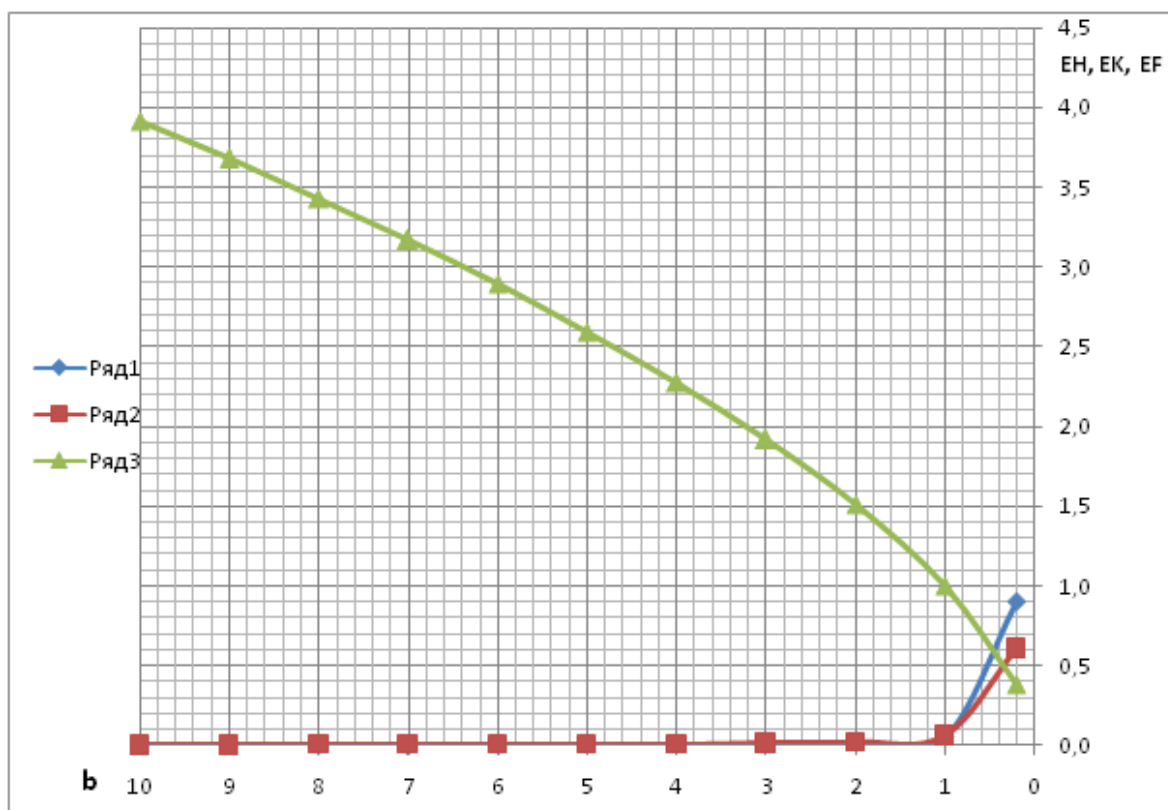
h/h	$\bar{b}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}}$	$\bar{b}^{(4a-10)/3a}$
1	0,2	0,907	0,303	0,385
2	1	0,052	0,030	1,000
3	2	0,015	0,011	1,508
4	3	0,007	0,006	1,918
5	4	0,004	0,004	2,274
6	5	0,003	0,003	2,595
7	6	0,002	0,002	2,892
8	7	0,002	0,002	3,168
9	8	0,001	0,001	3,429
10	9	0,001	0,001	3,677
11	10	0,001	0,001	3,914



Նկ. 2.9 EH, EK և EF գործակիցների փոփոխման գրաֆիկները ըստ հունի լայնության, երբ $\bar{d}_{OT} = 1$; $a = 4,5$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 2$:

EH, EK և EF գործակիցների արժեքները՝ կախված հունի լայնությունից, երբ $\bar{d}_{or} = 1$; $a = 4,5$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 4$:

h/h	$\bar{b}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}}$	$\frac{1}{a\beta_0} \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}}$	$\frac{\bar{b}^{(4a-10)/3a}}{3a}$
1	0,2	0,907	0,606	0,385
2	1	0,052	0,059	1,000
3	2	0,015	0,022	1,508
4	3	0,007	0,012	1,918
5	4	0,004	0,008	2,274
6	5	0,003	0,006	2,595
7	6	0,002	0,004	2,892
8	7	0,002	0,004	3,168
9	8	0,001	0,003	3,429
10	9	0,001	0,002	3,677
11	10	0,001	0,002	3,914



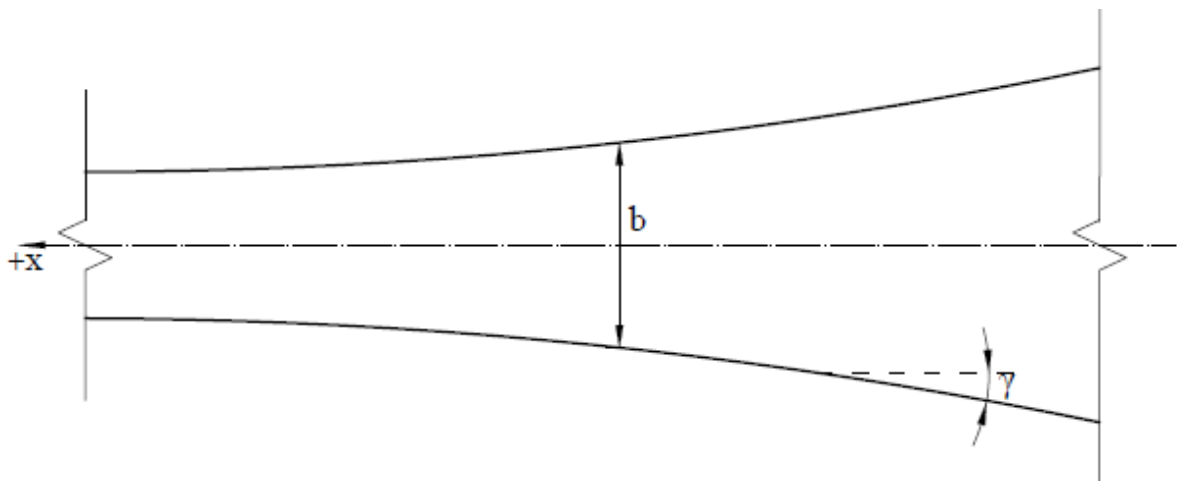
Նկ. 2.10 EH, EK և EF գործակիցների փոփոխման գրաֆիկները ըստ հունի լայնության, երբ $\bar{d}_{or} = 1$; $a = 4,5$; $\beta_0 = 15$; $Fr_0 = 4$:

Այժմ անդրադառնանք ձևափոխությունների արդյունքում կայունացած հունը նկարագրող (2.32) հավասարման մեջ առկա չափազուրկ լայնության $\frac{d\bar{b}}{dx}$ ածանցիալի մեծության փոփոխությանը:

Կատարված վերլուծությունից հետևում է, որ (2.32) կամ (2.33) հավասարումների մեջ հոսանքի խորության և կինետիկ էներգիայի ածանցիալների արժեքները շատ ավելի փոքր են դառնում իրենց EH և EK գործակիցների արժեքներից, և համապատասխանաբար, փոքր ազդեցություն են թողնում հունաձևափոխության արդյունքը բնութագրող Z կոորդինատի մեծության վրա:

Փաստորեն այդ կոորդինատի մեծությունը հիմնականում թելադրվում է նշված հավասարումներում հիդրավլիկական կորուստները ներկայացնող ազատ անդամով: Ընդ որում, վերջինիս վրա շատ մեծ ազդեցություն ունի ջրահոսքի «սահմանային տեղամասի» i_0 թեքությունը:

EH և EK գործակիցներ ունեցող այդ ածանցիալ բոլոր տեսակի հուններում իրենից ներկայացնում է եզրային պատերի ընդարձակման (նեղացման) γ անկյան տանգենսը (նկ.2.11): Համաձայն հոսանքի սահուն փոփոխվող շարժման պայմանի այդ անկյունը չպետք է մեծ լինի 8° -ից: Հետևաբար՝ կարող ենք գրել, որ $\frac{d\bar{b}}{dx} = \operatorname{tg} \gamma \leq 0,28$



Նկ. 2.11 Ձևափոխված հունի հատակագծային սխեման

Այսպիսով կարելի է գրականացնել, որ հունային փոփոխությունների ենթարկված տեղամասում նոր հատակի կոորդինատների արժեքների ձևավորումը գլխավորապես

թելադրվում է a ցուցիչի, հունի b լայնության և սահմանային տեղամասի i_0 թեքության գումարային ազդեցությամբ:

2.4 Հունային ձևափոխությունների հնարավոր երկայնական տեսքերը

Հունային փոխությունների արդյունքում ձևավորված հունի ավարտական, կայուն երկայնական տեսքի կանխատեսումը ունի շատ կարևոր գիտական և կիրառական նշանակություն: Այդ հիմնահարցի լուծումը հնարավորություն է տալիս առաջարկել ջրահոսքի հունակազմության ենթարկված տեղամասի պարամետրերի որոշման մեթոդ: Վերջինիս միջոցով կարելի է, մասնավորապես.

- գնահատել հնարավոր վթարային զարգացումների տեսակետից ջրահոսքի հատակի ձևափոխությունները,
- գետային կառուցվածքների ծառայության որոշված ժամկետի համար հաշվարկել, մի դեպքում, կառուցվածքի բարձրությունը, մեկ այլ դեպքում կառուցվածքի հիմքերի տեղադրման նիշերը:

Ատենախոսության 2.2 ենթագլխում տարատեսակ ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների կանխատեսման համար կատարված ուսումնասիրությունների արդյունքում առաջարկվել էր համապիտանի դիֆերենցիալ հավասարում

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} - \frac{1}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{-(4a-10)/3a} : \quad (2.38)$$

Հավասարման որակական վերլուծությամբ փորձենք պարզել թե ինչ հնարավոր տեսքեր կարող է ընդունել հունի հատակի երկայնական հատույթը [87]: Կատարենք հավասարման ձևափոխություն՝ նրան ներկայացնելով հետևյալ կերպ

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = \frac{1}{a\beta_0} \frac{1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} \left(a-1 + Fr_0 \bar{b}^{(a-3)/a} \right) \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} + i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{-(4a-10)/3a} : \quad (2.39)$$

Ուսումնասիրությունը պարզեցնելու նպատակով հավասարման ելքային a , β_0 և Fr_0 հաստատուն մեծություններին տանք որոշակի արժեքներ՝ հիմք ընդունելով բնության մեջ դրանց մեծությունների համար սահմանված հնարավոր փոփոխման միջակայքերը (2.3 ենթագլուխ): Ընդունվում է՝ $\beta_0 = 10$, $Fr_0 = 2$, a –ի համար 3,0 և 4,0

արժեքները, իսկ $d_{OT}^{1/3} = 1$ ՝ համաձայն նախորդ ենթադրյալի հիմնավորման: Նշված արժեքների դեպքում (2.39) հավասարումը կնդունի հետևյալ տեսքերը.

երբ $a = 3,0$

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = \frac{2}{15\bar{b}^{5/3}} \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} + i_0 \bar{b}^{2/9}, \quad (2.40)$$

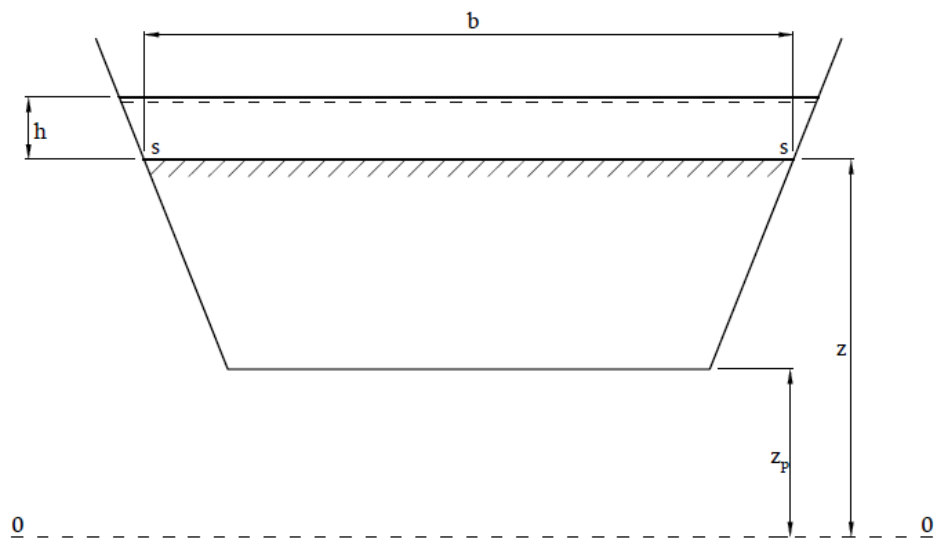
երբ $a = 4,0$

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = \frac{1}{40} \left(\frac{3}{\bar{b}^{7/4}} + \frac{2}{\bar{b}^{3/2}} \right) \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} + i_0 \bar{b}^{1/2}: \quad (2.41)$$

Պարզ է, որ հավասարումների ձախ մասը իրենից ներկայացնում է հունային ձևափոխություններից հետո կայունացած նոր հատակի փոփոխական թեքությունը, այսինքն ցույց է տալիս կայունացված S-S մակերևույթի տեսքը (նկ. 2.2)

$$\frac{dz}{dx} = \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}}: \quad (2.42)$$

(2.40) կամ (2.41) հավասարման վերլուծությամբ պարզենք այդ մակերևույթի հնարավոր տեսքերը $\frac{d\bar{b}}{d\bar{x}}$ ածանցիալի փոփոխման թույլատրելի տիրույթում: Վերջին մեծությունը իրենից ներկայացնում է տվյալ խնդրի եզրային պայմանի գրադիենտը և համաձայն սահուն փոփոխվող շարժման չի կարող մեծ լինել $\pm tg 8^\circ$ -ից (նկ.2.11):



Նկ. 2.12 Հունի սեղանաձև ընդլայնական հատույթը

Հետագա քննարկումների համար հունի երկայնական տեսքը պայմանականորեն ընդունենք պրիզմատիկ, իսկ ընդլայնական հատույթը՝ սեղանաձև, որպես ամենատարածված գործնական տեսք (նկ.2.12): Այս պայմաններում դիտարկենք հետևյալ հնարավոր տարբերակները, որոնք տեղի ունեն շարժման անխզելիության պայմանի բավարարման դեպքում (ջրահոսքի ուսումնասիրվող տեղամասում բացակայում է հոսանքի շոշափելի արտաքին ներհոսք կամ արտահոսք):

Տարբերակ 1. Ունենք՝ $\frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} = 0$, որից հետևում է որ՝ $\bar{b} = const$, այսինքն՝ հունի

պրիզմատիկությունը ողողման երևույթից առաջ և հետո չի խախտվում: Այդ դեպքում և (2.40) և (2.41) հավասարումներից ստացվում է

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{b}^{\frac{2}{9}}: \quad (2.43)$$

Տարբերակ 1-ում հնարավոր է երեք դեպք.

դեպք ա) հունային ձևափոխությունները ընթացել են ջրահոսքի սահմանային տեղամասում: Այս դեպքում $i_p = i_0$ և $b_p = b_0$ կամ որ նույնն է $\bar{b} = 1$: Համաձայն (2.43)

արտահայտության ստացվում է $\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = i_0$: Այսինքն՝ հունային ձևափոխությունից

հետո սահմանային տեղամասում վերահաստատվելու է պարամետրերի նախկին մեծություններին համարժեք հուն, որի հատակը i_0 թեքություն ունեցող հարթություն է:

դեպք բ) հունային ձևափոխությունները ընթացել են ջրահոսքի սահմանային տեղամասից վերև: Այս դեպքում պարզ է, որ տեղի ունի՝ $i_p > i_0$ և $b_p < b_0$ կամ որ նույնն է՝ $\bar{b} = const < 1$: Հետևաբար համաձայն (2.43) արտահայտության ստացվում է

$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = const < i_0$: Այսինքն՝ ձևափոխությունից հետո պրիզմատիկ հունի այս

տեղամասում ձևավորվելու է նոր հատակ, որի հաստատուն թեքությունը ավելի փոքր է սահմանային տեղամասի i_0 թեքությունից:

դեպք գ) հունային ձևափոխությունները ընթացել են ջրահոսքի սահմանային տեղամասից ներքև: Այս դեպքում տեղի ունի նախորդի հակառակ պատկերը՝ $i_p < i_0$ և $b_p > b_0$ կամ որ նույնն է՝ $\bar{b} = const > 1$: Հետևաբար համաձայն (2.43) արտահայտության

ստացվում է $\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = \text{const} > i_0$: Այսինքն հունային ձևափոփոխությունից հետո պրիզմայատիկ հունի այս տեղամասում հաստատվելու է նոր հատակ, որի հաստատուն թեքությունը ավելի մեծ է սահմանային տեղամասի հատակի i_0 թեքությունից:

Տարբերակ 2. Ունենք $\frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} < 0$, այն է շարժմանը հակառակ ուղղությամբ (x կոորդինատի դրական ուղղություն) ձևափոխված հունի լայնությունը նվազում է: Նկ. 2.12-ից ակնհայտ երևում է, որ պրիզմատիկ տեսքի սեղանաձև հունում դա կարող է տեղի ունենալ: Լայնության ածանցիալի բացասական արժեքի դեպքում (2.40) կամ (2.41) հավասարումներից հետևում է, որ

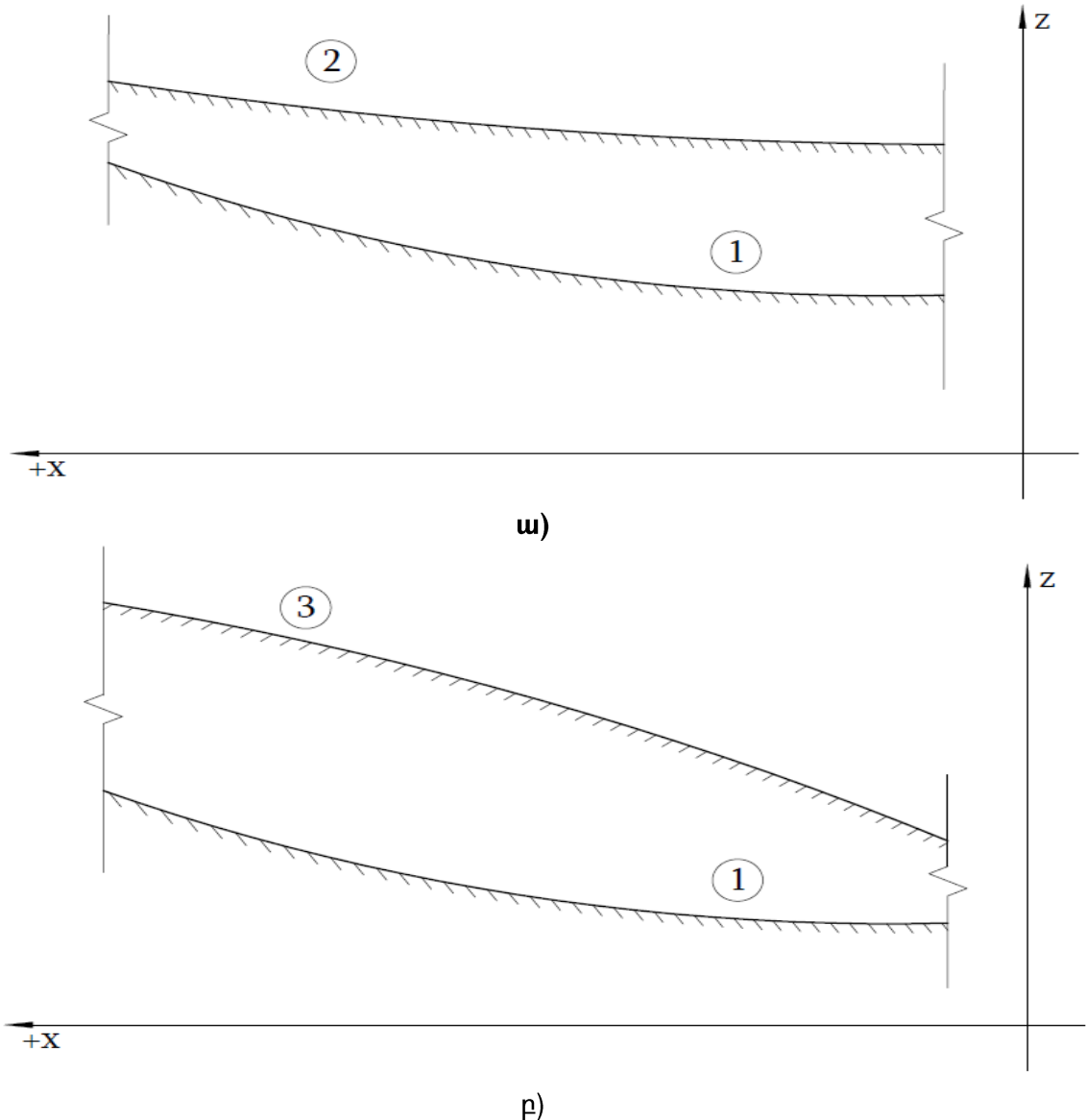
$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} < i_0 \bar{b}^{2/9} : \quad (2.44)$$

Այս տարբերակում b լայնության փոքրացումը նշանակում է, որ հոսանքին հակառակ պետք է անպայման նվազի նաև $z - z_p$ մեծությունը: Համաձայն (2.44) արտահայտության (b լայնությունը փոփոխական է), հունային ձևափոխությունից հետո հաստատվող նոր հատակը ձեռք է բերելու գոգավոր կորի տեսք, ինչպես ցույց է տրված նկ.2.13. ա-ի գրաֆիկում: Այդ նոր հատակը ասիմպտոտորեն մոտենալու է տվյալ տեղամասի նախկին հատակին: Նման վարքագիծ հունաձևափոխությունը կարող է ձեռք բերել, եթե տեղամասը գտնվում է սահմանային տեղամասից վերև, որտեղ հունի բնական թեքություններն ավելի մեծ են նոր հաստատվող հատակի փոփոխական թեքությունից: Ընդ որում, վերջինիս մեծությունը (յուրաքանչյուր կետում հորիզոնի հետ կորի շոշափողի կազմած անկյան տանգենսը) որոշվում է համաձայն (2.42) արտահայտության:

Տարբերակ 3. Ունենք $\frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} > 0$, այսինքն շարժման հակառակ ուղղությամբ (x

կոորդինատի դրական ուղղություն) ձևափոխված հունի լայնությունը աճում է: Նախորդ տարբերակի նման կատարելով վերլուծություն ստանում ենք, որ լայնությունը նկարագրված տեսքի հունում կարող է հոսանքին հակառակ աճել, եթե հունային ձևափոխությունից հետո հաստատվող հատակը ձեռք բերի ուռուցիկ կորի տեսք,

ինչպես նշված է նկ. 2.13. բ-ի գրաֆիկում: Այս տարբերակում նոր հատակը անընդհատ հեռանալու է տվյալ տեղամասի հունի նախկին հատակից:



Նկ.2.13 Հունի հատակի հնարավոր տեսքերը ձևափոխության կայունացումից հետո
 ա) հունի նոր հատակի գոգավոր տեսքը ջրահոսքի մեծ թեքությունների տեղամասում,
 բ) հունի նոր հատակի ուռուցիկ տեսքը ջրահոսքի հարթավայրային տեղամասում

Նման վարքագիծ հունաձևափոխությունը կարող է ձեռք բերել, եթե ուսումնասիրվող տեղամասը գտնվում է սահմանային տեղամասից ներքև, որտեղ հունի բնական թեքություններն ավելի փոքր են նոր հաստատվող հատակի փոփոխական թեքությունից:

2.5 Ջրահոսքերի հունաձևաչափական պարամետրերի որոշումը

Երկրի մակերևույթի վրա ջրահոսքի բազմամյա ազդեցության հետևանքով ռելյեֆային և գրունտային տվյալ պայմաններում կազմավորում է որոշակի ձևաչափական պարամետրեր ունեցող հուն: Այդ պարամետրերի մեծությունների ձևավորման բնույթը ուսումնասիրելիս, կարևոր է բացահայտել այն գործոնների շրջանակը, որոնց ազդեցության տակ հոսքն ու հունը ձեռք են բերում այս կամ այն ձևաչափերը, և այնուհետև պարզել այդ գործընթացը պատահական է, թե ենթարկվում է որոշակի օրինաչափությունների: Նշված ուսումնասիրությունները հնարավորություն կտան կապ հաստատել հունաձևաչափական պարամետրերի և դրանք պայմանավորող գործոնների միջև: Ատենախոսության 1.3 ենթագլխում բավական մանրամասն քննարկվել են խնդրի լուծման վերաբերյալ առկա հիմնական եղանակները: Նշվել է, որ դրանց բացարձակ մեծամասնությունը առաջարկված է հարթավայրային գետերի համար, իսկ լեռնային ջրահոսքերը բնութագրող աշխատանքներ հատուկենտ են: Որակական վերլուծության արդյունքում հիմնավորվել է, որ գետերի այդ երկու խմբերի միջև առկա է երկույթը պայմանավորող գործոնների զգալի տարբերություն: Հաշվի առնելով վերը շարադրվածը ատենախոսական աշխատանքում խնդիր էր դրվել ուսումնասիրությունների արդյունքում լեռնային ջրահոսքերի համար ստանալ հունաձևաչափական պարամետրերի (հունի լայնություն և հոսանքի խորության) որոշման օրինաչափություններ՝ կախված ջրահոսքի հիդրոլոգիական, ռելյեֆային և գրունտային բնութագրերից: Մշակումների համար օգտագործվել են երկու տարբեր հեղինակների կողմից այլ խնդիրների ուսումնասիրման ուղղությամբ իրականացված փորձարարական հետազոտությունների տվյալները [88, 89]: Այդ փորձերը կատարվել են հունի թեքության և հունը կազմող գրունտի միջին տրամագծի, համապատասխանաբար, հետևյալ արժեքների դեպքում՝ $i_0 = 0,01$, $d_{cp} = 1,3$ մմ և $i_0 = 0,05$, $d_{cp} = 6,8$ մմ: Հունակազմավորման գործընթացի ավարտական փուլում այլ մեծություններին զուգահեռ նշված աշխատանքների հեղինակների կողմից չափվել են նաև ձևավորված նոր հունի B լայնությունը, հոսանքի H խորությունը և ողողման արդյունքում հունի

գրունտի ինքնասալարկման միջին d_{or} տրամագիծը (աղ.2.8): Ստորև բերված են դրանց հիման վրա կատարված մշակումների արդյունքները [90]:

Ջրահոսքերի հունաձևաչափական պարամետրերի որոշման առաջարկները գործնականում հիմնված են 1.3 ենթագլուխում բերված է (1.1) և (1.2) ֆունկցիոնալ արտահայտությունների վրա: Եվ ինչպես նշվել է այդ առաջարկների ճնշող մասը վերաբերվում է հարթավայրային գետերին: Դրա հետ մեկտեղ լեռնային ու նախալեռնային գետերի համար առաջարկված փոքրաթիվ աշխատանքներում հիմք են հանդիսացել Կ.Ֆ Արտամոնովի հետևյալ օրինաչափությունները [36]

$$B = K_3 \frac{M}{i_0^{0,2}} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0,4}, \quad (2.38)$$

$$H = K_4 \frac{M}{i_0^{0,03}} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0,4}, \quad (2.39)$$

որտեղ K_3 - ը և K_4 - ը չափագուրկ գործակիցներ են, իսկ M - ը հոսանքի S (կգ/մ³) կոնցենտրացիայից և ջրաբերունների ρ_T (կգ/մ³) խտությունից կախված պարամետր՝

$$M = \left(\frac{1 + 40 S / \rho_T}{1 + 6.5 S / \rho_T} \right)^{0,12}. \quad (2.40)$$

Պետք է նշել, որ K_3 - ը և K_4 - ը գործակիցների համար հեղինակը առաջարկում է արժեքների բավական մեծ միջակայք՝ չհստակեցնելով դրանց կիրառման եղանակը: Հավանաբար տարբեր ջրահոսքերի դեպքում դրանք իրարից զգալի տարբերվել են: Ներկա ատենախոսական աշխատանքում փորձարարական տվյալների մշակումը կատարվել է ինչպես (1.1) և (1.2) ֆունկցիոնալ արտահայտությունների, այնպես էլ (2.38), (2.39) և (2.40) օրինաչափությունների օգտագործմամբ:

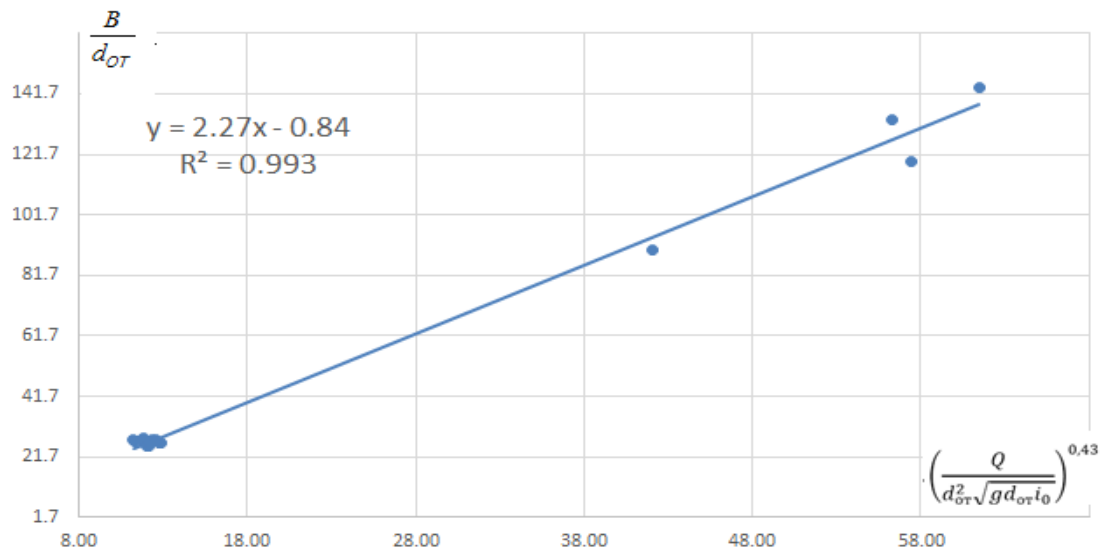
Դիցուկ, աղ.2.8 -ում բերված են (1.1) և (1.2) ֆունկցիոնալ կապերի հիման վրա կատարված հաշվարկների արդյունքները: Դրանց հիման վրա նկ.2.14 և 2.15-ում կառուցվել են, համապատասխանաբար, B/d_{or} և H/d_{or} մեծությունների կախվածության գրաֆիկներն ըստ $\frac{Q}{d_{or}^2 \sqrt{g} i d_{or}}$ չափորոշիչի: Համաձայն կատարված վիճակագրական հաշվարկների դիտվում է բավականին բարձր կորրելացիոն կապ ($R^2=0,99$): Այդ նույն

հաշվարկներով որոշվել են (1.1) և (1.2) ֆունկցիոնալ արտահայտությունների X և Y ցուցիչներն ու K_1 և K_2 գործակիցները:

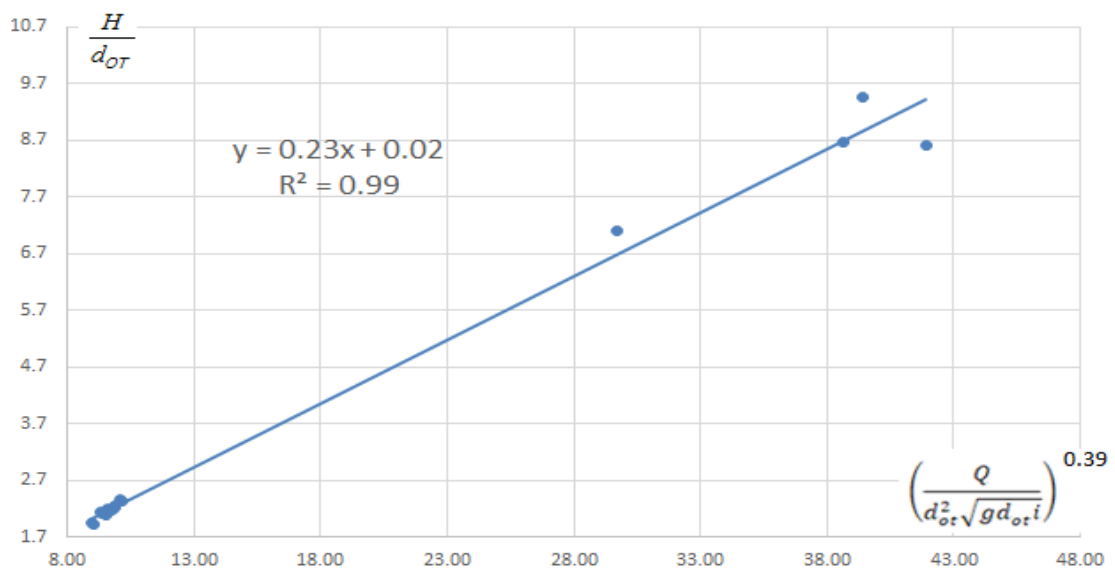
Աղյուսակ 2.8

Փորձարարական տվյալները և դրանց մշակման արդյունքները

N	Q (մ ³ /ս)	d_{om} (մ)	B (մ)	H (մ)	B/d_{om}	H/d_{om}	$\frac{Q}{d_{OT}^2 \sqrt{g i d_{OT}}}$
Գ.Բադալյանի փորձեր՝ $i_0 = 0,05$; $d_{cp} = 6,8\text{mm}$							
1	0,015	0,0224	0,60	0,043	26,8	1,9	285
2	0,015	0,0216	0,58	0,046	26,9	2,1	312
3	0,025	0,0246	0,65	0,058	26,4	2,4	376
4	0,033	0,0290	0,78	0,062	26,9	2,1	329
5	0,025	0,0252	0,68	0,056	27,0	2,2	354
6	0,035	0,0291	0,80	0,063	27,5	2,2	346
7	0,025	0,0245	0,64	0,057	26,1	2,3	380
8	0,011	0,0200	0,55	0,039	27,5	2,0	278
9	0,035	0,0298	0,79	0,065	26,5	2,2	326
10	0,011	0,0190	0,53	0,040	27,9	2,1	316
11	0,025	0,0259	0,65	0,057	25,1	2,2	331
12	0,033	0,0280	0,76	0,063	27,1	2,3	359
13	0,011	0,0192	0,52	0,041	27,1	2,1	307
14	0,020	0,0238	0,60	0,050	25,2	2,1	327
15	0,033	0,0282	0,76	0,062	27,0	2,2	353
Գ.Հակոբյանի փորձեր՝ $i_0 = 0,01$; $d_{cp} = 1,3\text{mm}$							
1	0,001	0,0031	0,28	0,022	90,3	7,1	5967
2	0,003	0,0036	0,43	0,034	119,4	9,4	12318
3	0,005	0,0045	0,60	0,039	133,3	8,7	11752
4	0,008	0,0050	0,72	0,043	172,0	8,6	14449



Նկ. 2.14 $\frac{B}{d_{OT}}$ հարաբերության կախվածությունը $\left(\frac{Q}{d_{OT}^2 \sqrt{g i d_{OT}}}\right)^{0.43}$ ֆունկցիայից:



Նկ. 2.15 $\frac{H}{d_{OT}}$ հարաբերության կախվածությունը $\left(\frac{Q}{d_{OT}^2 \sqrt{g i d_{OT}}}\right)^{0.39}$ ֆունկցիայից:

Մշակումների արդյունքում հունների ձևաչափական B/d_{OT} և H/d_{OT} պարամետրերի համար առաջարկվում են հետևյալ աստիճանային արտահայտությունները [90]

$$\frac{B}{d_{OT}} = 2,27 \left(\frac{Q}{d_{OT}^2 \sqrt{g i d_{OT}}} \right)^{0,43} - 0,84, \quad (2.41)$$

$$\frac{H}{d_{OT}} = 0,23 \left(\frac{Q}{d_{OT}^2 \sqrt{g i d_{OT}}} \right)^{0,39} + 0,02: \quad (2.42)$$

Ի տարբերություն (1.1) և (1.2) տեսք ունեցող առկա առաջարկների այստեղ ստացվել են ազատ անդամներ, սակայն գործնական տեսակետից դրանց ազդեցությունը կարելի է անտեսել: Պետք է նշել, որ, եթե հարթավայրային հունների համար հունը կազմող գրունտի միջին տրամագիծը (d_{OT}) գետի բավականին երկար հատվածում գործնականում չի փոխվում, ապա լեռնային գետերի դեպքում այդ մեծության արժեքը շատ փոփոխական է, և դրա ճիշտ որոշումը խնդրահարույց է: Ինչպես գոյություն ունեցող առաջարկների, այնպես էլ մեր կողմից ստացված (2.41) և (2.42) արտահայտությունների վերաբերյալ կարելի է նշել երկու թերություն.

- բնական ջրահոսքերի հունաձևաչափական պարամետրերի հաշվարկները կատարելիս մեծ դժվարություններ են առաջանալու գրունտի ինքնասալարկման d_{OT} տրամագծի որոշման հարցում,

- նշված արտահայտությունների $\frac{Q}{d_{OT}^2 \sqrt{g i d_{OT}}}$ չափորոշիչի մեջ չափողականությունը ապահովվելու համար, մեր կարծիքով, ինքնասալարկման տրամագծի ազդեցությունը չափազանցված է:

Հաշվի առնելով նշված բարդությունները ատենախոսության մեջ առավել նախապատվություն է տրվում հունաձևաչափական պարամետրերի որոշման հիմք ընդունել (2.38) և (2.39) օրինաչափությունների կառուցվածքը, նամանավանդ որ դրանք ստացվել են Միջին Ասիայի նախալեռնային գետերի վրա կատարած չափման տվյալների մշակումներից [36] : Հիմք ընդունելով նշված արտահայտությունների աջ մասի չափորոշիչները ատենախոսության մեջ կատարվել է նաև փորձնական տվյալների [88, 89] մշակումներ համաձայն այդ չափորոշիչների: Հաշվարկների

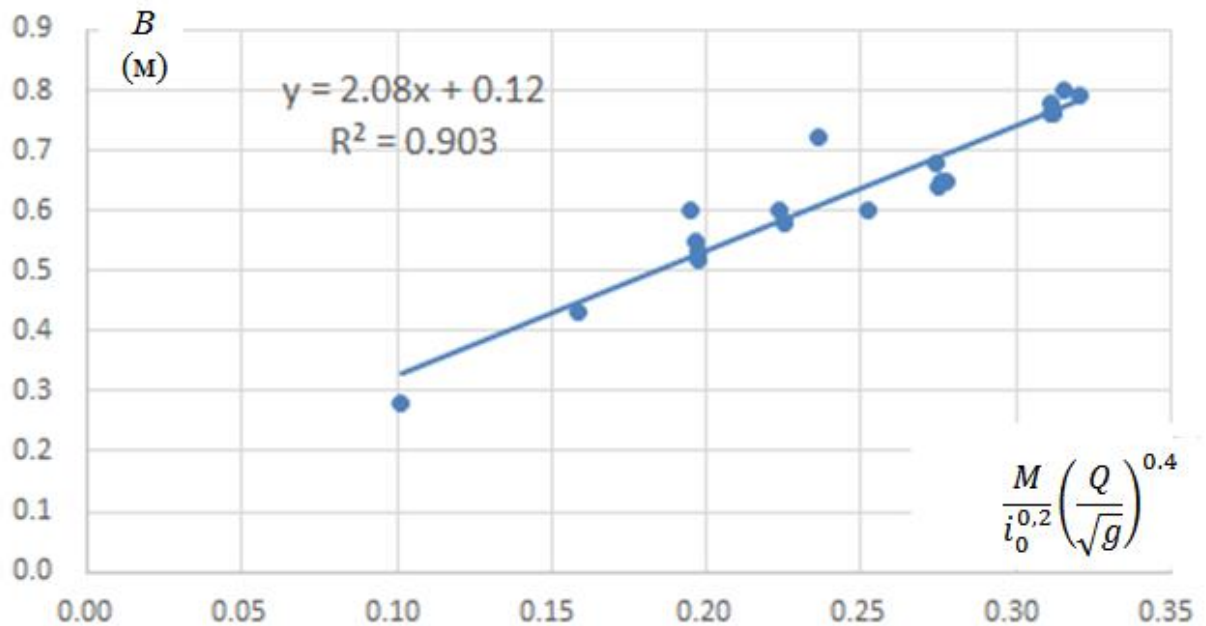
արդյունքները բերված են աղ. 2.8-ում: Դրանց հիման վրա նկ. 2.16 և 2.17-ում ներկայացված են, համապատասխանաբար, հունի B լայնության և հոսանքի H խորության կախվածության գրաֆիկներն ըստ (2.38) - (2.40) արտահայտությունների աջ մասերի չափորոշիչների:

Աղյուսակ 2.9

Փորձարարական տվյալները և դրանց մշակման արդյունքները

N	Q (մ ³ /ս)	S (կգ/մ ³)	$M = \left(\frac{1 + S/65}{1 + S/406} \right)^{0.12}$	B (մ)	H (մ)	$\frac{M}{i_0^{0.2}} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0.4}$	$\frac{M}{i_0^{0.03}} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0.4}$
Գ.Բաղաջլանի փորձեր $i_0 = 0,05; d_{cp} = 6,8 \text{ մմ}$							
1	0,015	34,0	1,042	0,60	0,043	0,224	0,135
2	0,015	41,0	1,048	0,58	0,046	0,225	0,135
3	0,025	45,0	1,052	0,65	0,058	0,277	0,167
4	0,033	52,0	1,058	0,78	0,062	0,312	0,187
5	0,025	33,0	1,041	0,68	0,056	0,274	0,165
6	0,035	39,0	1,046	0,80	0,063	0,316	0,190
7	0,025	37,0	1,045	0,64	0,057	0,275	0,166
8	0,011	29,0	1,037	0,55	0,039	0,197	0,118
9	0,035	60,0	1,064	0,79	0,065	0,321	0,193
10	0,011	32,0	1,040	0,53	0,040	0,197	0,119
11	0,025	39,0	1,046	0,65	0,057	0,276	0,166
12	0,033	56,0	1,061	0,76	0,063	0,313	0,188
13	0,011	30,0	1,038	0,52	0,041	0,197	0,118
14	0,020	38,0	1,046	0,60	0,050	0,252	0,152
15	0,033	52,0	1,058	0,76	0,062	0,312	0,187
Գ.Հակոբյանի փորձեր $i_0 = 0,01; d_{cp} = 1,3 \text{ մմ}$							
1	0,001	7,0	1,010	0,28	0,022	0,101	0,046
2	0,003	12,0	1,017	0,43	0,034	0,158	0,072
3	0,005	15,0	1,021	0,60	0,039	0,195	0,089
4	0,008	18,0	1,024	0,72	0,043	0,236	0,108

Կատարված վիճակագրական հաշվարկներում դիտվում է բավականին բարձր կորրելացիոն կապ ($R^2=0,90$):



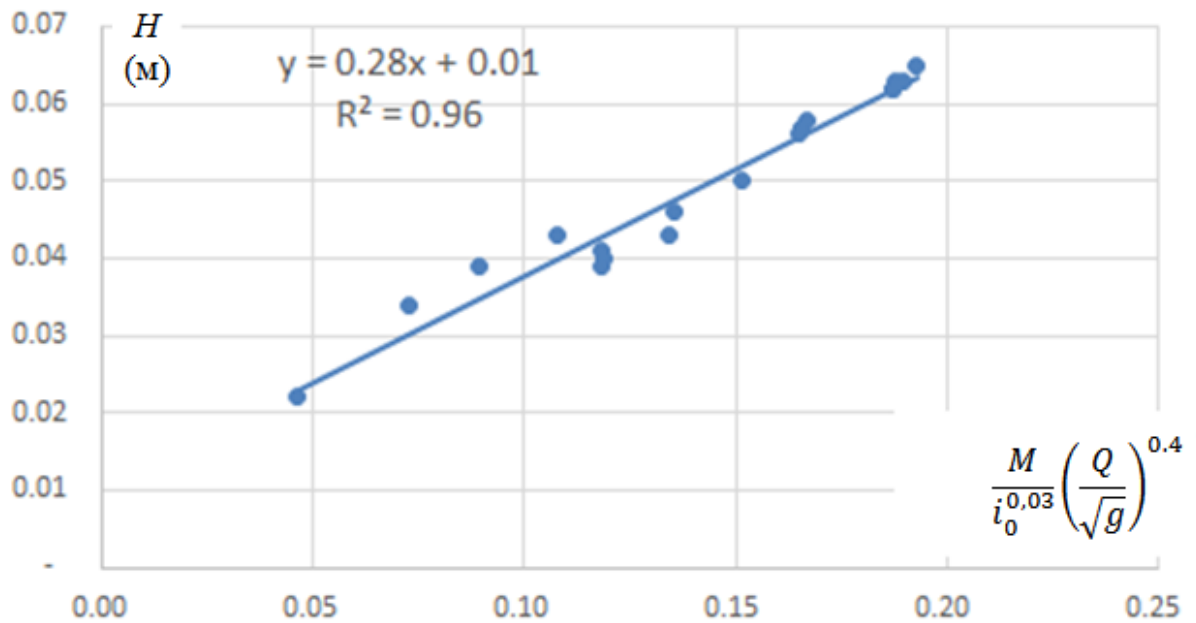
Նկ. 2.16 Հունի լայնության կախվածությունը $\frac{M}{i_0^{0.2}} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0.4}$ ֆունկցիայից:

Նույն հաշվարկների ընթացքում որոշվել են K_3 և K_4 գործակիցները: Մշակումների արդյունքում հունների ձևաչափական B և H պարամետրերի համար առաջարկվում են հետևյալ օրինաչափությունները, որտեղ i_0 -ը հոսանքի ջրաբերականության տանողունակությունից կախված M չափազուրկ պարամետրը որոշվում է համաձայն (2.40) բանաձևի [90]:

$$B = 2,08 \frac{M}{i_0^{0.2}} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0.4}, \quad (2.43)$$

$$H = 0,23 \frac{M}{i_0^{0.03}} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0.4}: \quad (2.44)$$

Այս դեպքում ևս փորձի տվյալների և հաշվարկի արդյունքների միջև դիտարկվում է բավականին խիստ արտահայտված կորրելացիոն կապ, ինչը ապացուցում է ստացված հաշվարկային արտահայտությունների հուսալիությունը:



Նկ. 2.17 Հոսքի խորության կախվածությունը $\frac{M}{i_0^{0.03} \left(\frac{Q}{\sqrt{g}} \right)^{0.4}}$ ֆունկցիայից:

Հունաձևաչափական պարամետրերի որոշման համար ստացված (2.43) և (2.44) օրինաչափությունները հնարավորություն են տալիս ոչ միայն հաշվարկել կայունացած բնական հունների ընդլայնական հատույթի չափերը, այլ նաև կանխատեսել գետահունի արհեստական փոփոխությունից հետո հաստատվող նոր պայմանները բնութագրող մեծությունները:

Եզրակացություններ և առաջարկություններ 2-րդ գլխի վերաբերյալ

Ատենախոսության այս գլխում կատարված ուսումնասիրությունները հնարավորություն են տալիս.

1. Բացահայտել տարատեսակ ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների ավարտական, կայունացած փուլի ֆիզիկական նկարագիրը, սահմանել քննարկվող երևույթի ընդհանրացված դրվածք, հիմնավորել հունային ձևափոխությունների մաթեմատիկական մոդելավորման ընդհանուր հայեցակարգը, ընդունված դրույթները և գտագործվող հավասարումների կիրառելիության սահմանները:

2. Կատարված ուսումնասիրությունների հիման վրա մշակել ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների կանխատեսման համապիտանի տեսական մոդել:

3. Հունի և հոսանքի բնական ամենատարբեր ելքային պայմանների համար քանակապես գնահատել հունաձևափոխությունները նկարագրող դիֆերենցիալ հավասարման անդամների ազդեցությունը կանխատեսվող երևույթի բնութագրերի վրա և որակական վերլուծություններով պարզել ձևափոխությունների արդյունքում հաստատված հունի հնարավոր երկայնական տեսքերը:

4. Ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների կանխատեսման համապիտանի մաթեմատիկական մոդելը կիրառել հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների հաշվարկային մեթոդներ մշակելու համար:

5. Փորձարարական տվյալների մշակման արդյունքում ստանալ բնական հունների ձևաչափական պարամետրերի որոշման օրինաչափություններ:

ԳԼՈՒԽ 3. ՀՈՒՆԱՅԻՆ ՁԵՎԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏԵՍՈՒԹՅԱՆ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ՀԻԴՐՈՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ

Գետերում և դրանց վտակներում ընթացող բնական հունային ձևափոխությունները, չնչին բացառությամբ, դանդաղ բնույթի են: Դրանց դեմ պայքարի միջոցառումներ հիմնականում իրականացվում են միայն ակնհայտ վտանգավոր իրավիճակների դեպքում, երբ գետափերի ողողման կամ գետահունում բերվածքների կուտակման պատճառով առաջանում է բնակավայրերին, հաղորդակցության ուղիներին և տնտեսության այլ օբյեկտներին սպառնացող իրական վտանգ: Առավել կարևոր է կանխատեսել հունային այն փոփոխությունները, որոնք ընթանում են գետերի վրա ընդլայնական հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների տեղակայման ժամանակ: Այդ կառուցվածքներից են.

- ուղղորդիչ, պաշտպանիչ դամբաներ ունեցող կամ առանց դրանց իրականացված կամրջային անցումները,
- բնակավայրերը, ավտոմոբիլային և երկաթուղային ճանապարհները հեղեղային և սելավային հոսանքներից պաշտպանող պատնեշները,
- հիդրոէլեկտրակայանների և ջրամատակարարման համակարգերի ջրառի գլխամասային հանգույցները և այլն:

Ընդհանրապես բոլոր տեսակի հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների նախագծմանը և հաշվարկին նախորդում են գետավազանի գեոդեզիական և երկրաբանական ուսումնասիրությունները, ինչպես նաև հիդրոմետրական տվյալների հավաքագրումը: Դրանց արդյունքները ելակետային են դառնում հիդրոլոգիական ու հիդրավիկական ուսումնասիրությունների և հաշվարկների համար: Հատկապես կարևոր նշանակություն ունի ջրահոսքի հեղուկ և ջրաբերուկային հոսքերի հավաստի գնահատումը: Այդ ուղղությամբ մեր կողմից ևս որոշակի ուսումնասիրություններ են կատարվել [91, 92]: Ինչ վերաբերվում է հունային ձևափոխությունների ազդեցությանը կառուցվածքների վրա, ապա ընդգծենք, որ դրանց մոտ ընթացող երևույթները բնութագրող հիմնական պարամետրերի, և մասնավորապես, կայունացող հունի նոր հատակի կոորդինատների մեծություններն են պայմանավորում կառուցվածքի տեսակի

և չափերի ընտրությունը: Ունենալով կայունացած նոր հատակի դիրքը և բնական հետազոտություններից ձեռք բերված ելակետային տվյալները կատարվում է նախատեսվող կառուցվածքի չափերի հաշվարկ:

Հունային ձևափոխությունների կանխատեսման նպատակով գլուխ 2-ում ներկայացվել էին երևույթի նկարագրման տեսական մշակումները: Փոփոխությունների արդյունքում ձևավորված նոր հունի հատակի կոորդինատների և լայնության միջև ստացվել էր հետևյալ համակիրառելի դիֆերենցիալ հավասարում

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} - \frac{1}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) \frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{(4a-10)/3a} : \quad (3.1)$$

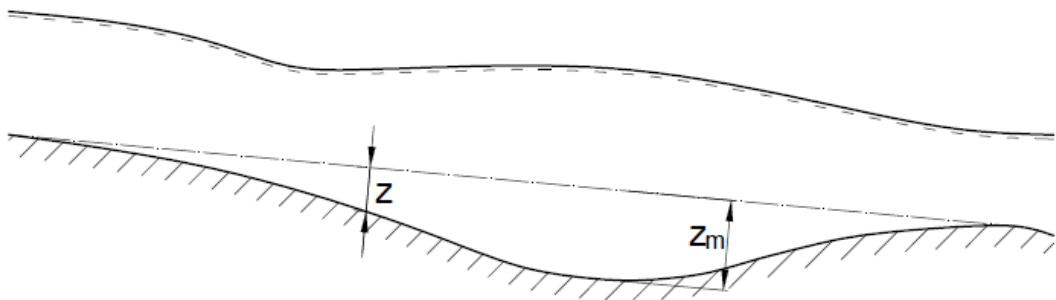
Հիմք ընդունելով (3.1) հավասարումը տարբեր հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների մոտ ընթացող ձևափոխությունների կանխատեսման նպատակով ատենախոսության այս գլխում կտրվեն այդ հավասարման մասնավոր կիրառման առաջարկներ: Մշակումներում կօգտագործվեն յուրաքանչյուր օրինակի առանձնահատկությունները, որոնք արտահայտվում են հոսանքի, հունի և կառուցվածքի եզրային և նախնական պայմաններով: Ստորև բերվում են գետային հիմնական կառուցվածքների համար իրականացված գործնական լուծումները, դրանցով կատարված հաշվարկներն ու արդյունքների վերլուծությունները [93, 94, 95]:

3.1 Կամրջային անցումներում հունային ողողումների կանխատեսման մեթոդի մշակումը

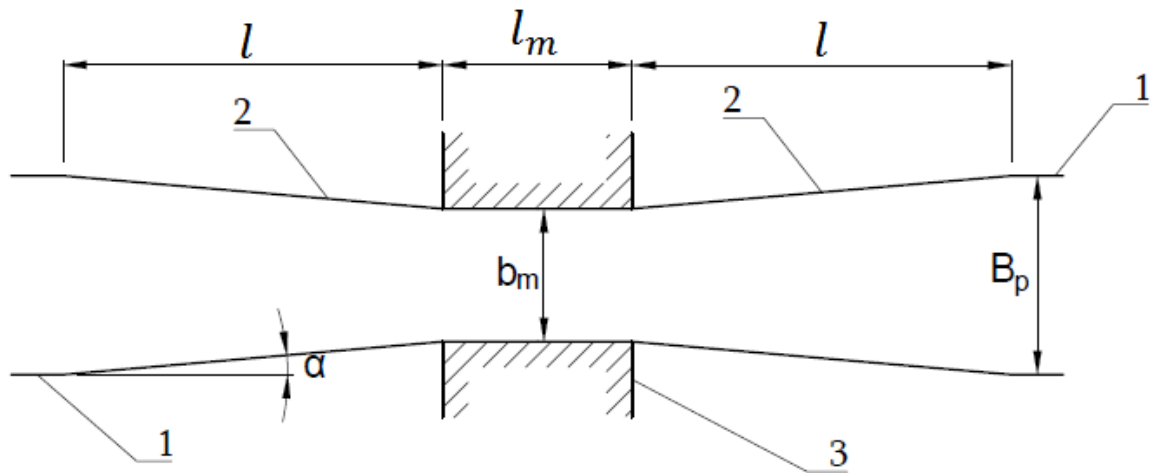
Լեռնային և նախալեռնային ոչ մեծ գետերի վրա կառուցվող կամուրջները մեծամասամբ արվում են միաթռիչք: Տնտեսական նպատակահարմարությունից և կամրջի կրող կոնստրուկցիաների ամրությունից ելնելով կամրջի միջհենարանային հեռավորությունը (կամրջային բացվածք) սովորաբար վերցվում է գետի լայնությունից զգալի փոքր, այսինքն հենարանների և դրանք պաշտպանող ուղղորդիչ դամբաների կառուցումը գետի որոշակի տեղամասում բերում է հունի արհեստական նեղացման: Արդյունքում փոխվում են կայունացած բնական հունի ձևաչափական բնութագրերը: Նեղացման պատճառով կամրջային անցման տեղամասում մեծանում է հոսանքի արագությունը, ինչը այդ տեղամասում բերում է հունը կազմող գրունտի ողողման

երևույթի առաջացմանը (նկ. 3.1): Ժամանակի ընթացքում առաջացող ողողումների հետևանքով հունը խորանում է, իսկ արագությունները նվազում: Գալիս է մի իրավիճակ, երբ հունային ձևափոխությունները գործնականում մարում են: Արդյունքում ջրահոսքի երկարությամբ վերականգնվում է ջրաբերունների ելքի հաստատունությունը: Կայունացված այս նոր իրավիճակը բնութագրող պարամետրերի ճիշտ կանխատեսումն է պայմանավորում կամրջային հենարանների և պաշտպանիչ դամբաների հիմնատակերի անվտանգ նիշերի ընտրությունը: Այդ պարամետրերից գլխավորը հատակի ողողման խորությունն է, որի մեծությունն ուղղակիորեն կապված է նոր ձևավորված հատակի կոորդինատից:

Ենթադրենք B_p լայնություն ունեցող գետի որևէ առանցքում տեղակայված է կամուրջ, որի ափային հենարանները հոսանքի ուղղությամբ ունեն l_M երկարություն, իսկ դրանց միջև հեռավորությունը կամ կամրջային բացվածքը b_M է (նկ. 3.2): Գետի բնական B_p լայնության լծորդումը այս բացվածքի հետ իրականացված է l երկարությամբ ուղղորդիչ դամբաներով՝ կամրջից առաջ նեղացող, իսկ հետո լայնացող: Ընդ որում, լծորդումը պետք է իրականացվի այնպես, որ չխախտվի հոսանքի սահուն փոփոխման պայմանը: Ըստ այդ պայմանի և նեղացման և լայնացման տեղամասերում հունի պատերի, հետևաբար նաև հոսանքի շեղման α անկյունը պետք է լինի ոչ ավել քան 8° (նկ. 3.2):



Նկ. 3.1 Գետահունի երկայնական հատույթը կամրջային անցման տեղամասում ողողումների ավարտման և կայուն վիճակի հաստատման պայմաններում



Նկ.3.2 Կամրջային անցման հատակագծային սխեման

1 – գետի բնական հունը, 2 – կամրջային անցում իր ուղղորդիչ դամբաներով, 3 – կամրջային հենարաններ:

Այսպիսով գետի $(2l + l_m)$ երկարության տեղամասում առկա կամրջային անցումը իրենից ներկայացնում է ոչ պրիզմատիկ հուն, որի ընդլայնական կտրվածքը սովորաբար արվում է ուղղանկյունաձև: Նշված պայմաններում գետի B_p լայնությունից դեպի կամրջային b_m բացվածք և բացվածքից դեպի գետ անցումները բնական պայմաններում իրականացվում են երեք տարբերակով՝ ուղղագիծ կամ կորագիծ լծորդող դամբաներով, ինչպես նաև առանց պաշտպանիչ դամբաների: Ըստ այդման էլ կունենանք համապատասխան եզրային պայմաններ: Առաջինը դիտարկենք ուղղագիծ օրինաչափության դեպքը [93]:

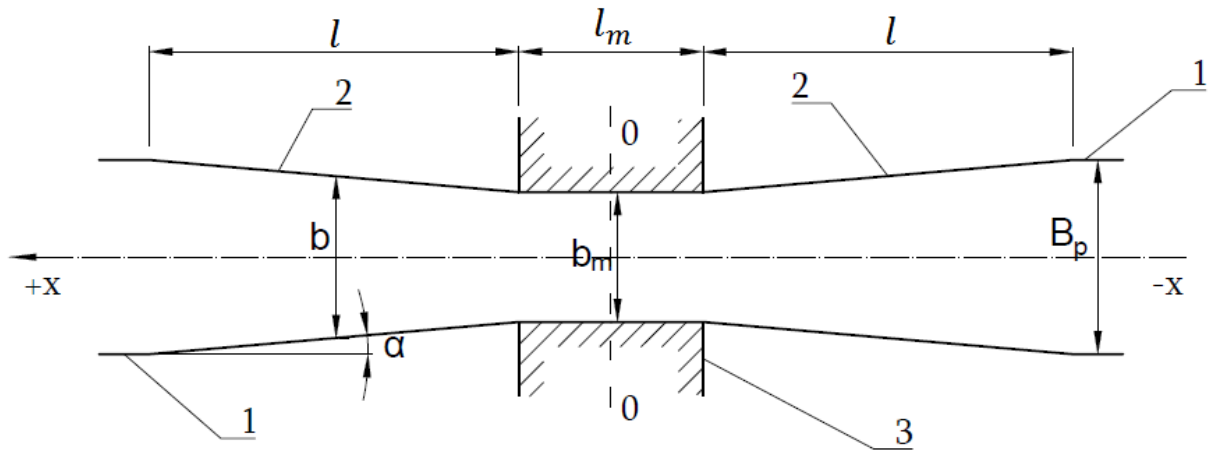
Ուղղագիծ եզրային պայմաններով կամրջային անցման դեպք

Այստեղ B_p և b_m մեծությունների միջև կունենանք հետևյալ կապը (նկ. 3.3)

$$B_p = b_m + 2l \operatorname{tg} \alpha \quad (3.2)$$

Նկատի ունենալով գլուխ 2-ում ընդունված չափագրկության գծային b_0 մասշտաբը (3.2) կապը չափագրկ տեսքով կարելի է ներկայացնել

$$\bar{B}_p = \bar{b}_m + 2\bar{l} \operatorname{tg} \alpha \quad (3.3)$$



Նկ.3.3 Ուղղագիծ դամբաներով կամրջային անցման հաշվարկային սխեման
 1 – գետի բնական հունը, 2 – կամրջային անցում իր ուղղորդիչ դամբաներով, 3 –
 կամրջային հենարաններ:

Ինչ վերաբերվում է կամրջային անցման b լայնության փոփոխությանը, ապա դրա չափազուրկ մեծությունը տվյալ տեղամասի տարբեր հատվածներում ըստ x -ի, կներկայացվի հետևյալ գծային օրինաչափություններով (x -ի դրական ուղղությունը նախորդ գլխի նման ընդունված է հոսանքին հակառակ)։

$$\text{երբ } \frac{l_M}{2} + l \geq x \geq \frac{l_M}{2}, \text{ կամ } \frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l} \geq \bar{x} \geq \frac{\bar{l}_M}{2}, \text{ ունենք}$$

$$\bar{b} = \bar{B}_P - 2 \left(\frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l} - \bar{x} \right) \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.4)$$

կամ հաշվի առնելով (3.1) կապը կունենանք՝

$$\bar{b} = \bar{b}_M + 2 \bar{l} \operatorname{tg} \alpha - 2 \left(\frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l} - \bar{x} \right) \operatorname{tg} \alpha : \quad (3.5)$$

Այս հատվածում ըստ (3.4) կամ (3.5) արտահայտությունների ստանում ենք

$$\frac{d \bar{b}}{d \bar{x}} = 2 \operatorname{tg} \alpha : \quad (3.6)$$

Հաջորդ միջակայքում, երբ $\frac{\bar{l}_M}{2} \geq \bar{x} \geq -\frac{\bar{l}_M}{2}$, կարող ենք գրել

$$\bar{b} = \text{const} = \bar{b}_M, \quad (3.7)$$

որից հետևում է, որ

$$\frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} = 0: \quad (3.8)$$

իսկ երբ $-\left(\frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l}\right) \leq \bar{x} \leq -\frac{\bar{l}_M}{2}$, ունենք

$$\bar{b} = \bar{B}_P - 2\left(\frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l} + \bar{x}\right) \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.9)$$

կամ

$$\bar{b} = \bar{b}_M + 2\bar{l} \operatorname{tg} \alpha - 2\left(\frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l} + \bar{x}\right) \operatorname{tg} \alpha \quad (3.10)$$

Այս դեպքում էլ կստացվի

$$\frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} = -2 \operatorname{tg} \alpha: \quad (3.11)$$

Հաշվի առնելով կամրջային անցման երեք հատվածներից յուրաքանչյուրի եզրային պայմանից ստացված $\frac{d\bar{b}}{d\bar{x}}$ արտահայտությունները (3.6), (3.8) և (3.11) մեծությունները հունային ձևափոխությունների կանխատեսման (3.1) դիֆերենցիալ հավասարման համար ստացվում են հետևյալ երեք տեսքերը՝

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} - \frac{1}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) 2 \operatorname{tg} \alpha = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{(4a-10)/3a}, \quad (3.12)$$

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{(4a-10)/3a}, \quad (3.13)$$

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{1}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) 2 \operatorname{tg} \alpha = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{(4a-10)/3a}: \quad (3.14)$$

Ինդրի լուծման հետագա ընթացքը պահանջում է հերթականությամբ կազմել հավասարումների երեք համակարգեր, որոնցից յուրաքանչյուրի մեջ մասնակցում է (3.12) - (3.14) հավասարումներից մեկը իր համապատասխան եզրային պայմանով: Մասնավորապես.

$$\frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l} \geq \bar{x} \geq \frac{\bar{l}_M}{2} \quad \text{միջակայքի համար կունենանք՝}$$

$$\begin{cases} \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} - \frac{1}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) 2 \operatorname{tg} \alpha = i_0 \bar{b}^{-(4a-10)/3a} \\ \bar{b} = \bar{B}_P - 2 \left(\frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l} - \bar{x} \right) \operatorname{tg} \alpha \end{cases}, \quad (3.15)$$

$$\text{Կամրջային հենարանների հատվածում՝} \quad \frac{\bar{l}_M}{2} \geq \bar{x} \geq -\frac{\bar{l}_M}{2} \quad \text{կստացվի}$$

$$\begin{cases} \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{b}^{-(4a-10)/3a} \\ \bar{b} = \text{const} = \bar{b}_M \end{cases} \quad (3.16)$$

$$\text{Իսկ կամրջից հետո, երբ} \quad -\left(\frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l}\right) \leq \bar{x} \leq -\frac{\bar{l}_M}{2}, \quad \text{կունենանք}$$

$$\begin{cases} \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{1}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) 2 \operatorname{tg} \alpha = i_0 \bar{b}^{-(4a-10)/3a} \\ \bar{b} = \bar{B}_P - 2 \left(\frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l} + \bar{x} \right) \operatorname{tg} \alpha \end{cases} \quad (3.17)$$

Հավասարումների այս 3 համակարգերում նկատի է առնվել, որ հունի ինքնասալարկման չափազուրկ $\bar{d}_{or}$ -ի մեծությունը, առավել ևս դրա 1/3 աստիճանը շատ մոտ է 1-ի: Բերված համակարգերի լուծման համար անհրաժեշտ է ամրագրել տվյալ խնդրի նախնական պայմանը (հաշվարկի սկզբնակետի տեղը): Քննարկվող օրինակում այդպիսիք երկուսն են, որոնք ստացվում են (3.4) կամ (3.9) եզրային պայմաններից, եթե համապատասխանաբար տեղադրենք կամ $\bar{x} = \frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l}$ կամ $\bar{x} = -\left(\frac{\bar{l}_M}{2} + \bar{l}\right)$: Նշված կետերը համապատասխանում են կամրջային անցման սկիզբի ու վերջի հատույթներին, որտեղ ունենք $\bar{b} = \bar{B}_P$:

Ստացված լուծումների վերլուծություն կատարելու համար սահմանենք (3.15), (3.16) և (3.17) հավասարումների համակարգերում առկա ելքային պարամետրերի և

հաստատուն մեծությունների իրատեսական արժեքները: Ընդ որում, հաշվարկի ելքային մեծություններ են հանդիսանում. կամրջին հարակից տեղամասում գետի բնական լայնությունը - B_p և հատակի թեքությունը - i_p , կամրջային բացվածքի լայնքը - b_M , չափազրկության գծային մասշտաբը, որը հանդիսանում է տվյալ գետի լայնությունը այն տեղամասում, որտեղ հոսանքի տանողունակությունը ձեռք է բերել սահմանային արժեք - b_0 , նույն տեղամասում հունի հատակի թեքությունը - i_0 , հոսանքի շեղման անկյունը կամրջային անցման տեղամասում - α , կամրջային հենարանի լայնությունը - l_M : Կամրջից առաջ նեղացող, իսկ կամրջից հետո լայնացող հատվածների l երկարությունը հայտնի B_p , $\bar{b}_M$ և α մեծությունների դեպքում նախապես որոշվում է համաձայն (3.3) արտահայտության: Թվարկված պարամետրերի հետ մեկտեղ ելքային են նաև a ցուցիչը, որը փոփոխվում է 2,7 - 4,5 միջակայքում, $\beta_0 = \frac{b_0}{h_0}$ հարաբերությունը և Ֆրուդի թիվը (Fr_0), որոնք բնական ջրահոսքերի պայմաններում համապատասխանաբար փոփոխվում են 6-20 և 2-6 սահմաններում: Վերը նշված մյուս ելքային պարամետրերի համար սահմանվում են ներքոհիշյալ արժեքները:

Կամրջային հարաբերական բացվածքի $\mu = \frac{b_M}{B_p} = \frac{\bar{b}_M}{\bar{B}_p}$ մեծությունը սովորաբար ընտրվում է 0,7-0,9 արժեքների սահմաններում: Ընդունենք գետի չափազուրկ $\bar{B}_p$ լայնությունը հավասար 1-ի, իսկ $\frac{\bar{b}_M}{\bar{B}_p}$ հարաբերությունը 0,7: Այսինքն գետը կամրջային հենարաններով նեղացվել է 30% չափով, և հետևաբար ստացվում է $\bar{b}_M = 0,7$: Կամրջային հենարանների $\bar{l}_M$ չափազուրկ երկարությունը ընդունվում է հավասար 0,6-ի, իսկ α անկյան առավելագույն արժեքի (8°) դեպքում ստացվում է՝ $2 \operatorname{tg} \alpha = 0,28$: Նկատի ունենալով, որ $\bar{x} = \pm \frac{\bar{l}_M}{2}$ դեպքում ունենք $\bar{b} = \bar{b}_M$, ապա համաձայն (3.3) կապի չափազուրկ $\bar{l}$ երկարության համար ստանում ենք

$$\bar{l} = \frac{\bar{B}_p - \bar{b}_M}{2 \operatorname{tg} \alpha} : \quad (3.18)$$

Այս արտահայտությունից տրված մեծությունների պայմաններում $\bar{l}$ -ի արժեքը ստացվում է հավասար 1,1: Նկատի ունենալով վերոհիշյալը հավասարումների երեք համակարգերի վերլուծությունը կատարվում է a, β_0, Fr_0 և i_0 ելքային պարամետրերի իրատեսական արժեքների փոփոխության ֆոնի վրա: Ստորև ներկայացվում է այդ հաշվարկների մի մասը, որոնք բավականաչափ լավ են բնորոշում կատարված հաշվարկների արդյունքները: Դրանցում ելքային վերը նշված մեծությունների արժեքներ են ընտրված՝ $a=3$ և $a=4$; $\beta_0=8$ և $\beta_0=12$; $Fr_0=2$ և $Fr_0=5$; $i_0=0,01$ և $i_0=0,03$:

Տարբերակ 1-ում ընտրվել է՝ $a=3$, և հաշվարկները կատարվել մյուս պարամետրերի հետևյալ արժեքների դեպքում՝ $\beta_0=8$ և $\beta_0=12$; $Fr_0=2$ և $Fr_0=5$; $i_0=0,01$ և $i_0=0,03$:

Հաշվարկի նախնական պայմանը՝ երբ $\bar{x}=-1,4$, ունենք $\bar{b}=\bar{B}_P=1$ և $\bar{z}=0$:

Հաշվարկի քայլը ընդունվում է՝ $\Delta\bar{x}=0,1$:

Նշված պայմաններում հաշվարկային հավասարումների համակարգերն են.

Կամրջից հետո $-1,4 \leq \bar{x} \leq -0,3$ միջակայքում՝

$$\begin{cases} \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{0,28}{3\beta_0} \frac{2+Fr_0}{\bar{b}^{5/3}} = i_0 \bar{b}^{2/9} \\ \bar{b} = 1 - 0,28(1,4 + \bar{x}) \end{cases} \quad (3.19)$$

Կամրջային հենարանների հատվածում՝ $0,3 \geq \bar{x} \geq -0,3$

$$\begin{cases} \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{b}^{2/9} \\ \bar{b} = \bar{b}_M = 0,7 \end{cases} \quad (3.20)$$

Կամրջից առաջ $1,4 \geq \bar{x} \geq 0,3$ միջակայքում՝

$$\begin{cases} \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} - \frac{0,28}{3\beta_0} \frac{2+Fr_0}{\bar{b}^{5/3}} = i_0 \bar{b}^{2/9} \\ \bar{b} = 1 - 0,28(1,4 - \bar{x}) \end{cases} \quad (3.21)$$

Տարբերակ 2-ում ընդունվել է՝ $a = 4$, և հաշվարկները կատարվել մյուս պարամետրերի հետևյալ արժեքների դեպքում՝ $\beta_0 = 8$ և $\beta_0 = 12$; $Fr_0 = 2$ և $Fr_0 = 5$; $i_0 = 0,01$ և $i_0 = 0,03$:

Հաշվարկի նախնական պայմանը՝ երբ $\bar{x} = -1,4$ ունենք $\bar{b} = \bar{B}_P = 1$ և $\bar{z} = 0$:

Հաշվարկի քայլը ընդունվում է՝ $\Delta \bar{x} = 0,1$:

Այս տարբերակում էլ հաշվարկային հավասարումների համակարգերն են.

Կամրջից հետո $-1,4 \leq \bar{x} \leq -0,3$ միջակայքում

$$\begin{cases} \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{0,28}{4\beta_0} \left(\frac{3}{\bar{b}^{7/4}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{3/2}} \right) = i_0 \bar{b}^{1/2} \\ \bar{b} = 1 - 0,28(1,4 + \bar{x}) \end{cases}, \quad (3.22)$$

Կամրջային հենարանների հատվածում՝ $0,3 \geq \bar{x} \geq -0,3$

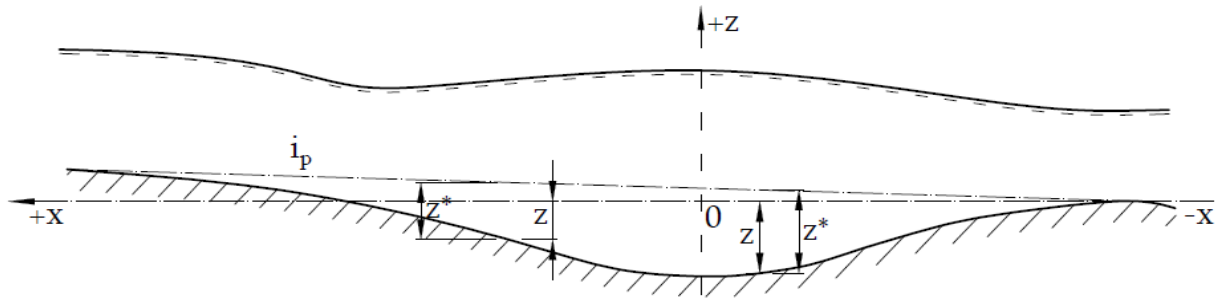
$$\begin{cases} \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = i_0 \bar{b}^{1/2} \\ \bar{b} = \bar{b}_M = 0,7 \end{cases} \quad (3.23)$$

Կամրջից առաջ $1,4 \geq \bar{x} \geq 0,3$ միջակայքում

$$\begin{cases} \frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} - \frac{0,28}{4\beta_0} \left(\frac{3}{\bar{b}^{7/4}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{3/2}} \right) = i_0 \bar{b}^{1/2} \\ \bar{b} = 1 - 0,28(1,4 - \bar{x}) \end{cases} \quad (3.24)$$

Հաշվարկները կատարվել են MATHCAD ծրագրային փաթեթի միջոցով: Պարզ է, որ հավասարումների (3.19) - (3.24) համակարգերում ողողումների $\bar{z}$ մեծությունը հաշվարկվում է ըստ հորիզոնական $\bar{x}$ առանցքի: Մինչդեռ գործնականում հունի ողողման փաստացի խորության արժեքներն ընդունված է հաշվել հունի նախկին հատակից սկսած, որն ունի i_p թեքություն: Նշանակելով ողողման այդ չափազուրկ մեծությունը $\bar{z}^*$ -ով համաձայն նկ. 3.4-ի ողողման խորության նշված երկու մեծությունների միջև կարելի է գրել հետևյալ գծային կապը

$$\bar{z}^* = \bar{z} - (\bar{x} + 1,4) \cdot i_p: \quad (3.25)$$



Նկ.3.4 Ողողումների փաստացի խորության հաշվարկային սխեման

Ինչ վերաբերվում է ողողումները բնութագրող փաստացի մեծությունների որոշմանը, ապա դրանց արժեքները բարձրությունները հաշվարկում են z -ի և b -ի համապատասխան չափազուրկ արժեքի ու չափազրկության գծային b_0 ընդունված մասշտաբի արտադրյալով: Ջրահոսքերի ելքային պարամետրերի փոփոխման իրատեսական լայն միջակայքերում ողողման չափազուրկ մեծությունների որոշման համար կատարված հաշվարկների մի բնորոշ մասը բերված է աղյ. 3.1- 3.4-ում, իսկ հիմնական մասը՝ հավելված 1-ում: Այդ հաշվարկներում կիրառված ալգորիթմը ներկայացված է ստորև:

Աղյուսակ 3.1

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ

$$a = 3; \beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = i_p = 0,01$$

x	-1,400	-1,002	-0,744	-0,474	-0,300	0,300	0,546	0,860	1,123	1,414
b	1,000	0,889	0,816	0,741	0,692	0,524	0,455	0,367	0,294	0,212
z	0,000	-0,017	-0,030	-0,046	-0,059	-0,053	-0,031	-0,007	0,011	0,028
z*	0,000	-0,021	-0,036	-0,056	-0,070	-0,070	-0,051	-0,030	-0,015	0,000

Աղյուսակ 3.2

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ

$$a = 4; \beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = i_p = 0,01$$

x	-1,400	-1,066	-0,781	-0,535	-0,300	0,300	0,497	0,860	1,182	1,470
b	1,000	0,906	0,827	0,758	0,692	0,524	0,469	0,367	0,277	0,196
z	0,000	-0,013	-0,026	-0,039	-0,055	-0,050	-0,033	-0,007	0,013	0,029
z*	0,000	-0,016	-0,032	-0,048	-0,066	-0,067	-0,052	-0,030	-0,013	0,000

MATHCAD ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ կամրջային անցումներում ողողումների մեծությունների հաշվարկի ալգորիթմը (MATHCAD 15,0)

$$\beta_0 := 8 \quad Fr_0 := 2 \quad i_0 := 0.01 \quad i_p := 0.01 \quad x_0 := -1.4 \quad z_0 := 0$$

$$b(x) := 1 - 0.28 \cdot (1.4 + x)$$

$$f(x, z) := i_0 \cdot b(x)^{\frac{2}{9}} - \frac{0.28}{3 \cdot \beta_0} \cdot \frac{2 + Fr_0}{b(x)^{\frac{5}{3}}}$$

Enter the desired solution parameters:

$$x_1 := -0.3 \quad \text{Endpoint of solution interval}$$

$$N := 10 \quad \text{Number of solution values on } [x_0, x_1]$$

Given

$$z'(x) = f(x, z(x)) \quad z(x_0) = z_0 \quad z := \text{Odesolve}(x, x_1)$$

$$z^* := z(x) - (x + 1.4) \cdot i_p$$

Աղյուսակ 3.3

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ

$$a = 3; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = i_p = 0,03$$

x	-1,400	-1,085	-0,766	-0,515	-0,300	0,300	0,541	0,875	1,172	1,450
b	1,000	0,912	0,823	0,752	0,692	0,524	0,457	0,363	0,280	0,202
z	0,000	-0,009	-0,022	-0,035	-0,049	-0,032	-0,003	0,033	0,061	0,086
z*	0,000	-0,019	-0,041	-0,062	-0,082	-0,083	-0,061	-0,035	-0,016	0,000

Աղյուսակ 3.4

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ

$$a = 4; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = i_p = 0,03$$

x	-1,400	-1,028	-0,784	-0,511	-0,300	0,300	0,579	0,875	1,402	1,567
b	1,000	0,896	0,828	0,751	0,692	0,524	0,446	0,363	0,215	0,169
z	0,000	-0,008	-0,016	-0,027	-0,038	-0,023	0,006	0,033	0,076	0,089
z*	0,000	-0,019	-0,034	-0,054	-0,071	-0,074	-0,054	-0,035	-0,008	0,000

Համաձայն նշված աղյուսակային տվյալների հոսանքի և հունի պարամետրերի տարբեր արժեքների համար նկ. 3.5 - 3.10-ում կառուցվել են կամրջային անցման

առանձին հատվածների՝ մուտքամասի, հենարանների և ելքամասի ողողման չափագուրկ $\bar{z}^*$ խորությունների (դեֆորմացիաների) փոփոխման գրաֆիկները: Ըստ նշված արդյունքների նկ. 3.11ա և 3.11բ-ում ներկայացված են այդ դեֆորմացիաների փոփոխման գրաֆիկները կամրջային անցման ողջ երկարության համար: Հաշվարկների հիմնական մասի գրաֆիկները, որոնք կառուցվել են համաձայն հավելված 1-ի աղյուսակային տվյալների, բերված են հավելված 2-ում: Ինչպես երևում է աղյուսակային տվյալներից և գրաֆիկներից.

- ողողումների առավելագույն արժեքները գրանցվում են կամրջային հենարանների հատվածում, ընդ որում հենարանների սկզբում խորությունները 5-6 % չափով ավելին են հենարանների վերջնամասի արժեքներից (նկ. 3.6 և նկ. 3.9):

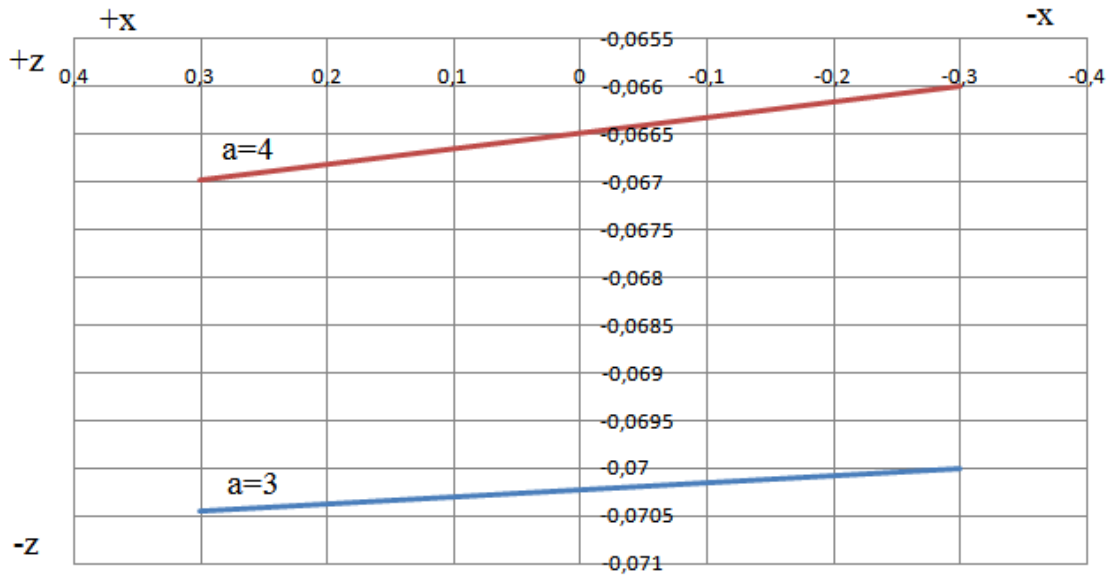
- ողողումների մեծության վրա համեմատաբար թույլ ազդեցություն է թողնում β_0 գործակիցը, իսկ առավել ուժեղ՝ հունի սահմանային տեղամասի i_0 և կամրջային անցման մասի բնական i_p թեքությունները,

- կամրջային անցումներում հունային ողողումների կանխատեսման համար մշակված մեթոդը հուսալի արդյունքներ է տալիս է երևույթը պայմանավորող հոսանքի, հունի և կամրջային անցման հիմնական բնութագրերի հնարավոր լայն փոփոխման միջակայքերում:



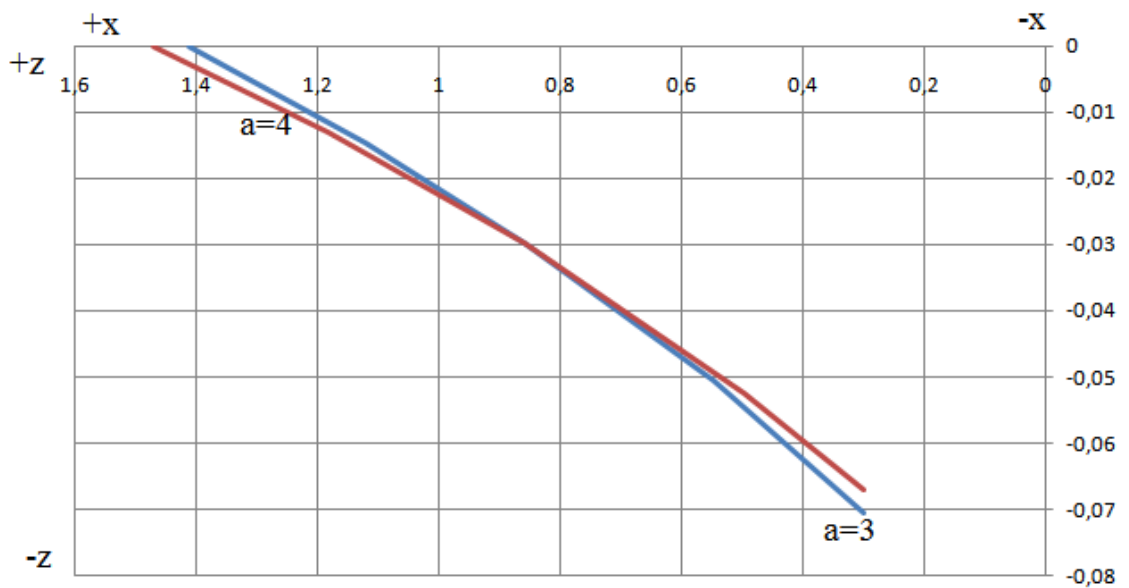
$$\beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = 0,01 \quad -1,4 \leq \bar{x} \leq -0,3$$

Նկ.3.5 Ողողումների չափագուրկ մեծության փոփոխությունը կամրջային անցման ելքամասում



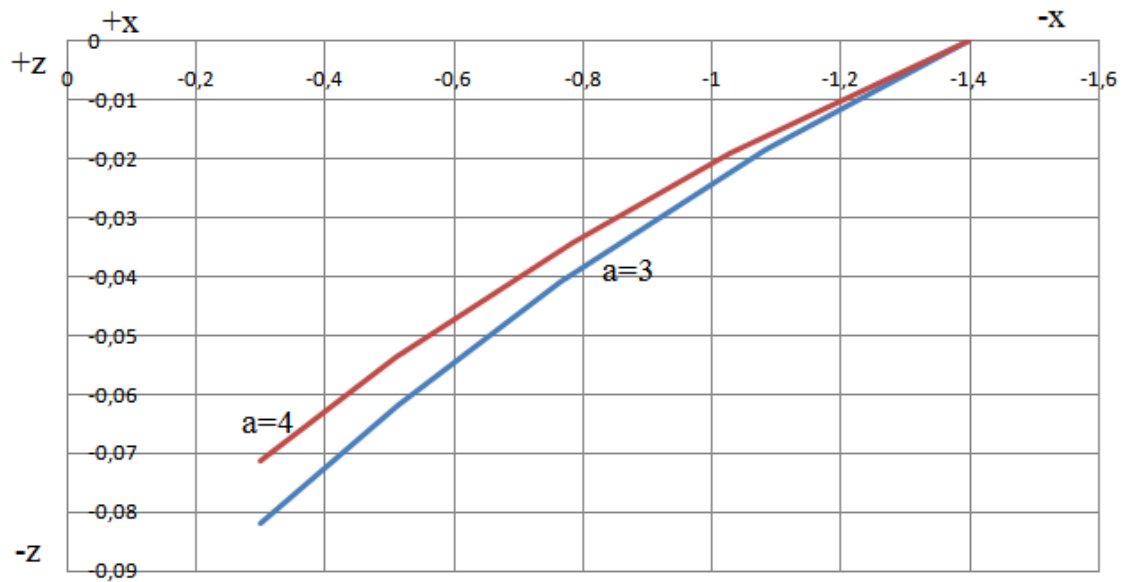
$$\beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = 0,01 \quad 0,3 \geq \bar{x} \geq -0,3$$

Նկ.3.6 Ողողումների չափազուրկ մեծության փոփոխությունը կամրջային
հենարանների հատվածում



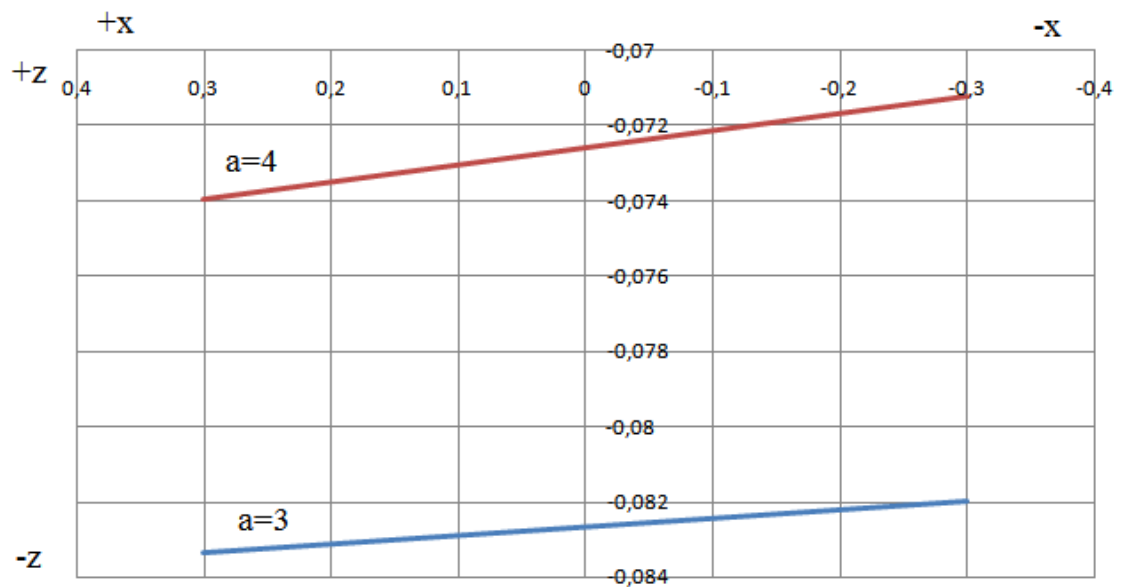
$$\beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = 0,01 \quad 1,4 \geq \bar{x} \geq 0,3$$

Նկ.3.7 Ողողումների չափազուրկ մեծության փոփոխությունը կամրջային անցման
մուտքամասում



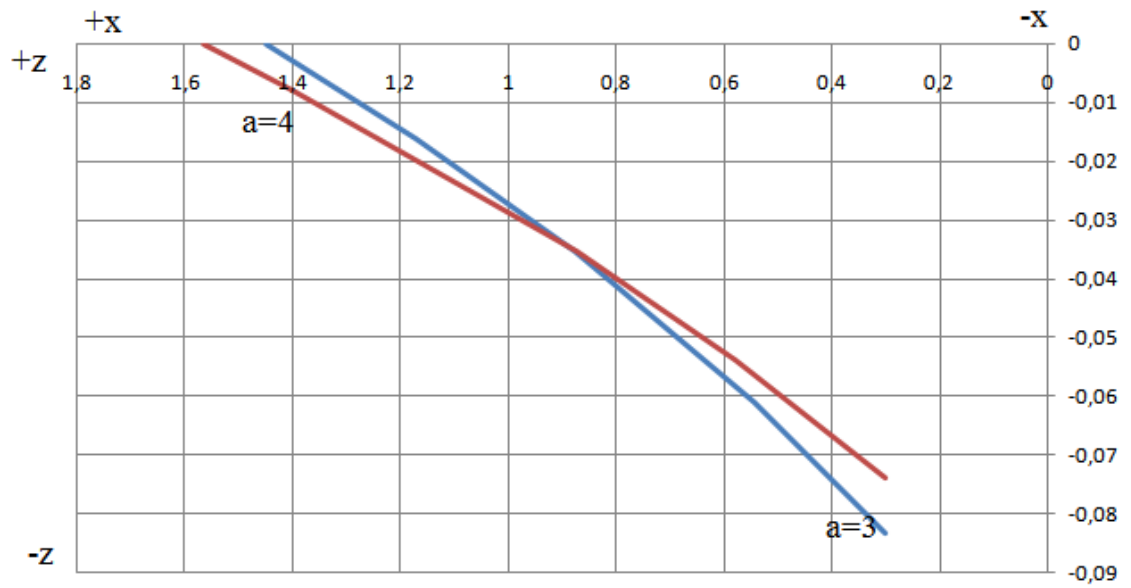
$$\beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,03 \quad -1,4 \leq \bar{x} \leq -0,3$$

Նկ.3.8 Ողողումների չափազուրկ մեծության փոփոխությունը կամրջային անցման ելքամասում



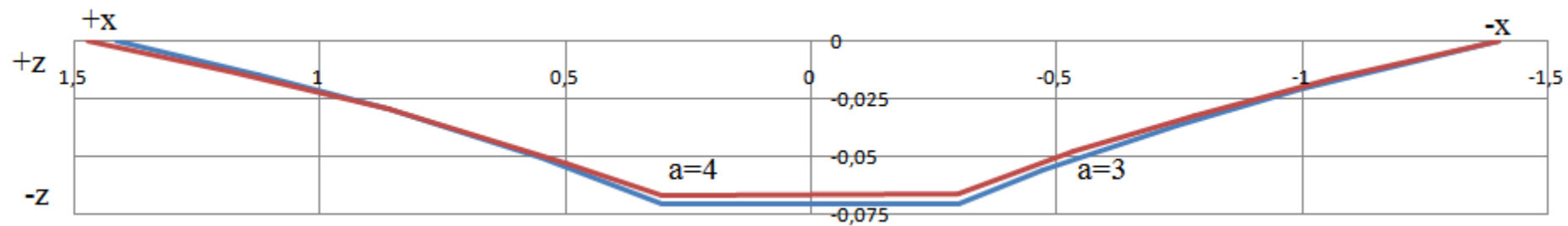
$$\beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,03 \quad 0,3 \geq \bar{x} \geq -0,3$$

Նկ.3.9 Ողողումների չափազուրկ մեծության փոփոխությունը կամրջային հենարանների հատվածում



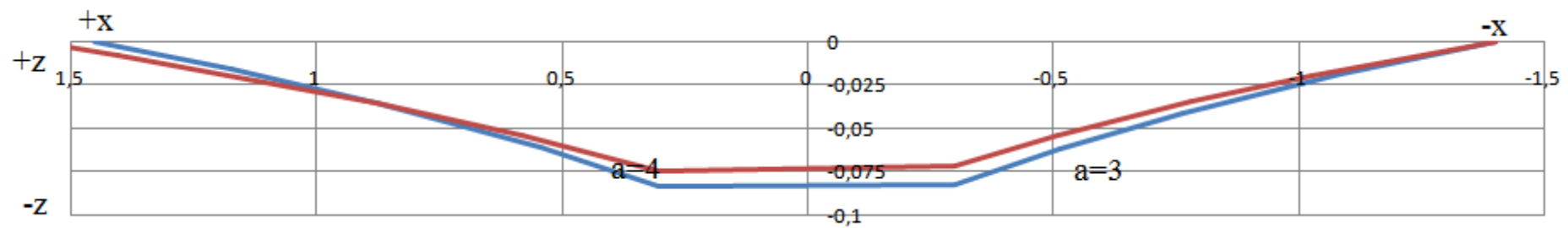
$$\beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,03 \quad 1,4 \geq \bar{x} \geq 0,3$$

Նկ.3.10 Ողողումների չափազուրկ մեծության փոփոխությունը կամրջային անցման մոտաքամասում



ա)

$$\beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = i_p = 0,01$$



բ)

$$\beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = i_p = 0,03$$

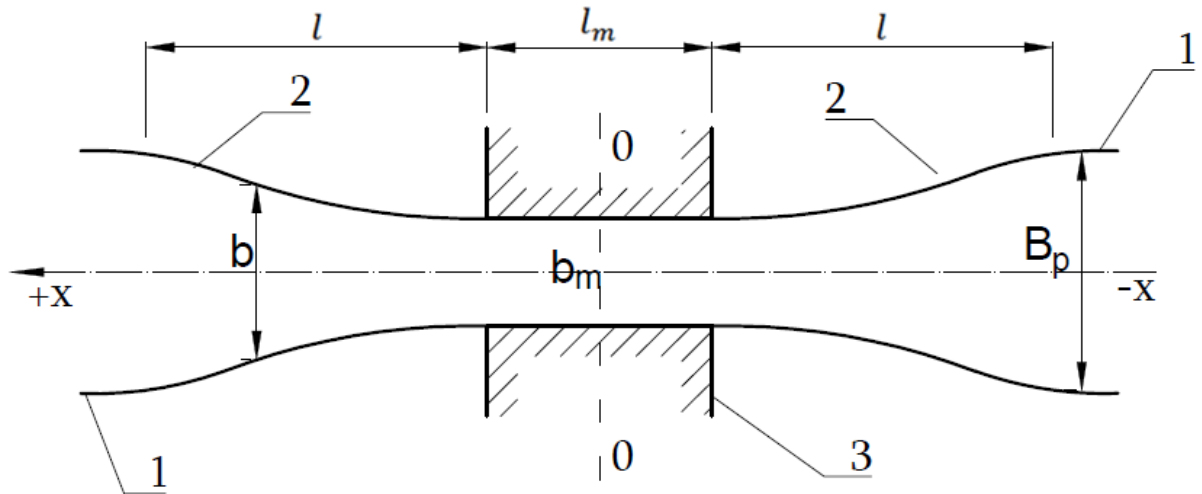
Նկ.3.11 Կամրջային անցման տեղամասում ողողումների մեծության հաշվարկի արդյունքները

ա) հոսանքի և հունի բնութագրերի փոքր արժեքների դեպք,

բ) հոսանքի և հունի բնութագրերի մեծ արժեքների դեպք :

Կորագիծ եզրային պայմաններով կամրջային անցման դեպք

Ավելի հաճախ կիրառվող այս դեպքում գետի B_p լայնությունից դեպի կամրջային b_M բացվածք և վերջինից դեպի ներքևի բյեֆ անցումները իրականացվում են կորագիծ լծորդող դամբաներով (նկ. 3.12):



Նկ.3.12 Կամրջային անցման հատակագծային սխեման

1 – գետի բնական հունը, 2 – կամրջային անցում կորագիծ ուղղորդիչ դամբաներով,
3 – կամրջային հենարաններ:

Այդ կորը հատակագծում կարելի է բավական ճշգրիտ ներկայացնել տանգենսիալերովական կախվածության միջոցով

$$\bar{b} = \varepsilon [\mu \pm (1-\mu)th\bar{x}] = \varepsilon \left[\mu \pm (1-\mu) \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \right], \quad (3.25)$$

որտեղ ε - ը $\frac{B_p}{b_0}$ հարաբերությունն է: Կարող է լինել 1-ից մեծ, հավասար կամ փոքր՝ կախված թե գետի տարբեր տեղամասերին համապատասխանող այդ երկու լայնությունները իրար նկատմամբ ինչ հարաբերության մեջ են, μ -ն կամրջային բացվածքի հարաբերական մեծությունն է՝ $\mu = \frac{b_M}{B_p} = \frac{\bar{b}_M}{\bar{B}_p} < 1$, (փակագծի ներսի «+» նշանը համապատասխանում է +x կորդինատներին, իսկ «-» նշանը՝ -x կորդինատներին):

Համաձայն (3.25) արտահայտության, երբ $\bar{x}=0$, ստացվում է $\bar{b}=\varepsilon \mu$ կամ $b=b_M$, իսկ երբ $\bar{x}=\pm \infty$, ապա կունենանք՝ $b=B_p$: Այսինքն կամրջային անցման ընդունված օրինաչափության համար, որն ապահովում է խնդրի նախնական պայմանները, գետի բնական լայնությունը հանդիսանում է ասիմպտոտ: (3.25) արտահայտության ածանցիալի համար կարող ենք գրել

$$\frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} = \pm \frac{1-\mu}{ch^2x} = \pm \frac{4(1-\mu)}{(e^x + e^{-x})^2} :$$

(3.26)

Այս արտահայտությունը տեղադրելով (3.1) հավասարման մեջ ստանում ենք

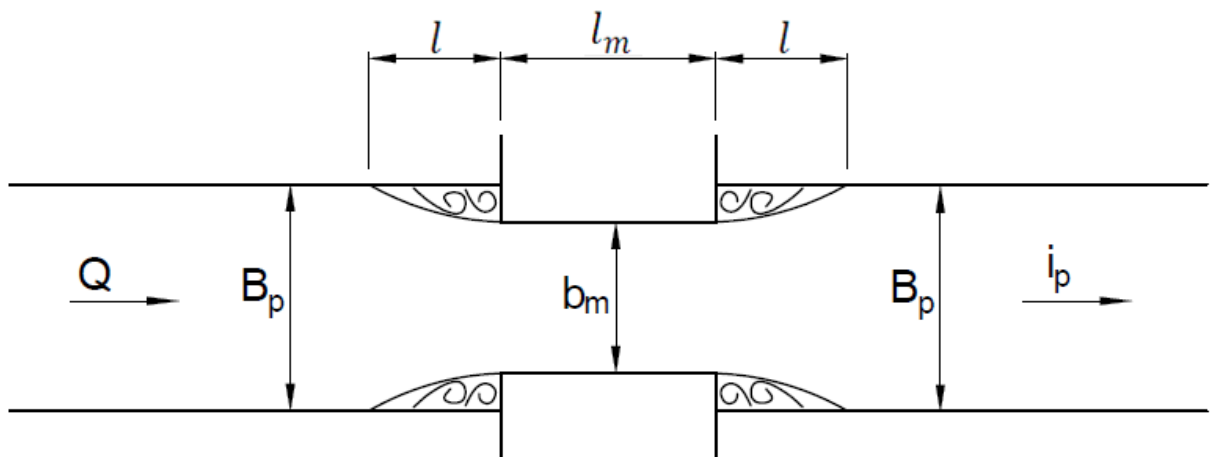
$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} - \frac{1}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) \left[\pm \frac{4(1-\mu)}{(e^x + e^{-x})^2} \right] = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{(4a-10)/3a} : \quad (3.27)$$

Լծորդող կորագիծ դամբաների դեպքի համար էլ ուղղագիծ լծորդման նման (3.25) և (3.27) հավասարումներով պետք է ըստ x -ի փոփոխման միջակայքերի կազմել հավասարումների համակարգեր և տվյալ կառուցվածքի պայմանների համար իրականացնել դրանց լուծումը:

Առանց լծորդող դամբաների կամրջային անցման դեպք

Այս դեպքում գետի B_p լայնությունից դեպի կամրջային b_M բացվածք և հակառակ լծորդող անցումները բացակայում են (նկ. 3.13): Այսպիսի անցումներ լեռնային շրջանի փոքր ջրահոսքերի վրա բավականին հաճախ են հանդիպում, քանի որ դամբաների կառուցումը բավականին ծախսատար է: Այս դեպքում հենարանների հիմքերը հնարավոր ողողումներից պաշտպանելու համար որոշակի չափով մեծացնում են դրանց հիմնատակերի խորությունը: Չնայած լծորդող կառուցվածքի բացակայությանը հոսանքի սահուն փոփոխվող բնույթը անցման տեղամասում ինքն է ստեղծում լծորդում՝ կամրջային հենարանների դիմաց և հետևում ջրապտույտի տեսքով առաջանում են ℓ երկարությամբ մեռյալ գոտիներ որոնք դուրս են մնում հոսանքի ընդհանուր շարժումից (նկ. 3.13): Բացի կամրջային անցումներից բնական պայմաններում նման երևույթ ակնհայտ դիտվում է բոլոր տեսակի անցումային տեղամասերում: Հետևապես այս տեսակի կամրջային

անցումներում ողողումների մեծության կանխատեսումների համար կարելի է հիմք ընդունել կամ ուղղագիծ կամ կորագիծ դամբանների համար ստացված լուծումները:



Նկ.3.13 Առանց դամբանների կամրջային անցման հատակագծային սխեման

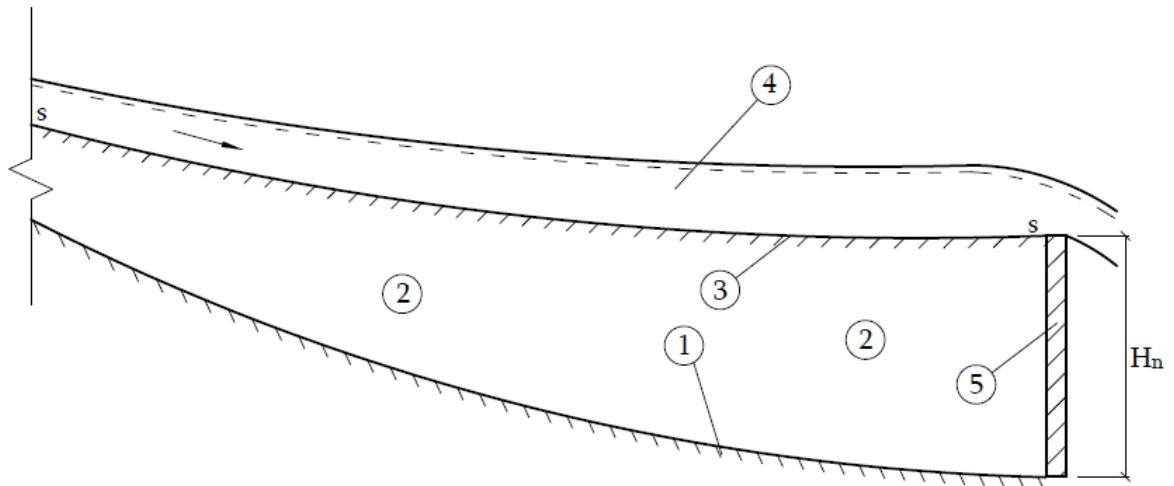
Այսպիսով կարելի է արձանագրել, որ ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների կանխատեսման տեսական մոդելը հնարավոր է կիրառել կամրջային տարատեսակ անցումներում հնարավոր ողողումների խորության որոշման համար: Ինչպես ցույց տրվեցին կատարված մշակումները, Այս վերջնական արդյունքի հավաստիության վրա շատ կարևոր դերակատարում ունի տվյալ խնդրի եզրային և սահմանային պայմանների ճիշտ գնահատումը:

3.2 Հակասելավային պատնեշների դիմաց ընթացող հունային ձևափոխությունների կանխատեսման մեթոդի մշակումը

Ինչպես Հայաստանի, այնպես էլ շատ երկրների լեռնային և նախալեռնային շատ գետերին հատուկ են ուղղաձիգ հարթության մեջ առաջացող հունային ձևափոխությունները: Այդ գետերը բնորոշվում են հոսքի սեզոնային հսկայական տատանումներով և հատկապես գարնանային վարարումների ժամանակ անցնում է տարեկան հոսքի կեսից ավելին: Այդ է պատճառը, որ հաճախ այդ գետերի և դրանց վտակների մեծամասնությունը սելավային տեսակետից ռիսկային է: Սելավների դեմ պայքարի հիդրոտեխնիկական միջոցառումների տեսակները և դրանց հիդրավլիկական հաշվարկի առաջարկները ներկայացվել և վերլուծվել են

ատենախոսության գլուխ 1-ում: Այլ կառուցվածքների կողքին շարադրվել են, հատկապես, շատ լայն կիրառություն ունեցող հակասեւալային պաշտպանիչ պատնեշների հաշվարկին առնչվող առաջարկներում առկա հիմնական թերությունները: Նշենք, որ անցյալ դարում բնակավայրերի, ավտոմոբիլային և երկաթուղային ճանապարհների պաշտպանության նպատակով մեր Հանրապետության Լոռու, Վայոց Ձորի և Սյունիքի մարզերում կառուցվել են շուրջ 100 հակասեւալային պատնեշ: Դրանց ճնշող մասը շատ վաղուց ամբողջովին լցվել է բերվածքներով և դուրս եկել շահագործումից [94]: Այստեղ կարևոր է նշել, որ ժամանակի ընթացքում սեւալապահ պատնեշի դիմացի ծավալը ամբողջովին լցվելիս կուտակված ջրաբերուկների վերին մակերևույթը կայունանում է (նկ. 3.14-ի s-s մակերևույթ), և հունային այս ձևափոխության արդյունքում առաջանում նոր հատակ: Այս մակերևույթի վրայով հետագայում ընթացող շարժումը ոչ հավասարաչափ է, բայց կայունացած: Պատնեշի (կասկադային լուծման դեպքում դրանցից ամեն մեկի) հիդրավլիկական հաշվարկի վերջնական նպատակը կառուցվածքի այն H_n բարձրության որոշումն է (նկ. 3.14), որի դեպքում կառուցվածքի տրված ծառայության ժամկետի ընթացքում վերին բիեֆի ծավալը հնարավորություն ունենա կուտակել եկած սեւալային բերվածքների ողջ քանակը: Ակնհայտ է, որ առանց սեւալային կուտակումների վերին s-s մակերևույթի դիրքի կանխատեսման անհնար որոշել սեւալային կուտակումների ծավալը, հետևապես և պատնեշի բարձրությունը: Այս հաշվարկներին վերաբերվող հավաստի մեթոդների բացակայության պատճառով է, որ հակասեւալային կառուցվածքները նախագծելիս գործնականում չեն կատարվում հիմնավորված հաշվարկներ:

Ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների կանխատեսման նպատակով ատենախոսության գլուխ 2-ում ստացված համապիտանի տեսական մոդելի կիրառումը հնարավորություն է տալիս մշակել հակասեւալային պատնեշների դիմաց կուտակված բերվածքների վերին, կայունացված մակերևույթի կոորդինատների հաշվարկային մեթոդ [95, 96]: Այդ նպատակով տեսական ընդհանուր մոդելում պետք է օգտագործվեն քննարկվող հակասեւալային կառուցվածքի եզրային և սահմանային պայմանները:



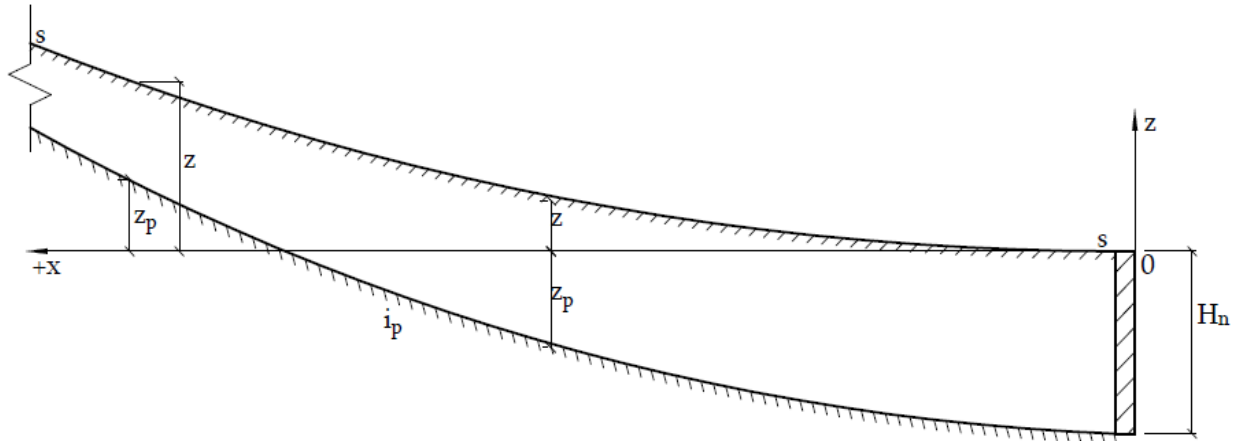
Նկ.3.14 Ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների սխեման սելավապահ պատնեշի վերին բիեֆում

1- հունի հատակը մինչև հունային ձևափոխության սկսելը, 2- սելավային կուտակումներ, 3- հունի նոր հատակը (կայունացված s-s մակերևույթ), 4 – շարժման տիրույթը, 5 - սելավապահ պատնեշ:

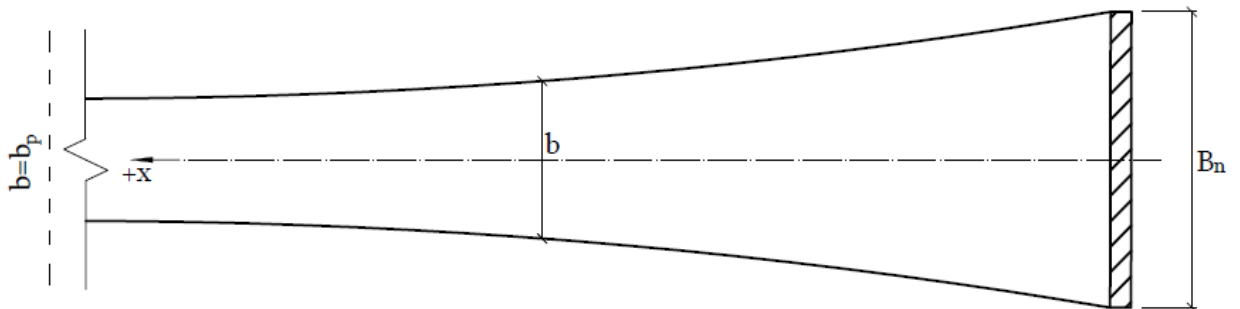
Ենթադրենք սեղանաձև կտրվածք ունեցող սելավաբեր ջրահոսքի որևէ առանցքում տեղակայված է H_n բարձրությամբ և գագաթի B_n լայնությամբ պատնեշ: Հունի երկայնական թեքությունը կառուցվածքին հարակից տեղամասում i_p է, որը նախկին հատակի Z_p կոորդինատի փոփոխությունն է ըստ միավոր x -ի: Հունի նախկին, բնական լայնությունը՝ b_p է: Պատնեշի դիմացի ծավալը սելավային բերվածքներով ամբողջովին լցվելու հետևանքով ձևավորված նոր հունի կայունացած s-s հատակը բնորոշվում է Z կոորդինատով (նկ. 3.15) և b լայնությամբ (նկ. 3.16): Պատնեշի գագաթը ընդունելով կոորդինատների սկզբնակետ դրական x առանցքն ուղղվում է հոսանքին հակառակ: Ուղղաձիգ հունային փոփոխություններից հետո գետի նշված տեղամասը ընդհանուր դեպքում իրենից ներկայացնում է կոր հատակով ոչ պրիզմատիկ հուն (նեղացող կամ լայնացող): Նշված դրվածքի դեպքում խնդրի եզրային պայմանի համար կարելի է գրել հետևյալ առնչությունը (նկ. 3.15 և նկ. 3.17)

$$b = b_p + 2m(z \pm z_p), \quad (3.28)$$

որտեղ B_n - ը պատնեշի գագաթի լայնություն է (նոր հունի լայնությունը $x = 0$ կետում), m -ը հունի պատերի շեղության գործակիցն է՝ $m = \operatorname{ctg} \varphi$ (նկ. 3.17):



Նկ.3.15 Սելավապահ պատնեշի վերին բիլեֆի երկայնական հատույթը հունային ձևափոխությունների ավարտական փուլում



Նկ.16 Սելավապահ պատնեշի վերին բիլեֆի հատակագծային տեսքը հունային ձևափոխությունների ավարտական փուլում

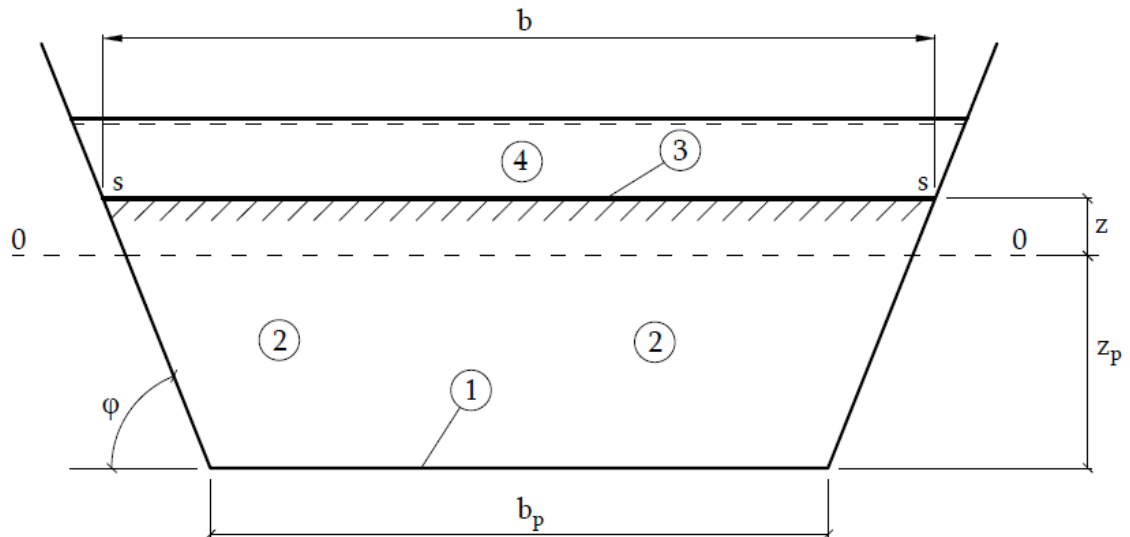
Ընդ որում, z_p -ի դրական նշանը գործում է $0 < x < \frac{H_n}{i_p}$ միջակայքում, որտեղ (նկ.

3.15)

$$z_p = H_n - i_p x, \quad (3.29)$$

իսկ բացասական նշանը՝ $x > \frac{H_n}{i_p}$ դեպքում, որտեղ

$$z_p = i_p x - H_n: \quad (3.30)$$



Նկ.3.17 Սեղավապահ պատնեշի վերին բիլեֆի ընդլայնական հատույթի սխեման
1– հունի հատակը մինչև հունային ձևափոխության սկսելը, 2– սեղավային կուտակումներ, 3–
հունի նոր հատակը (կայունացված s-s մակերևույթ), 4 – շարժման տիրույթը:

Հաշվի առնելով (3.29) և (3.30) արտահայտությունները լայնության համար գրված (3.28) հավասարումը չափազուրկ տեսքով կգրվի

$$\bar{b} = \bar{b}_p + 2m(\bar{z} + \bar{H}_n - i_p \bar{x}): \quad (3.31)$$

Քննարկվող խնդրի սահմանային պայմաններ են.

- երբ $\bar{x} = 0$, ունենք $\bar{z} = 0$, $\bar{z}_p = \bar{H}_n$ և $\bar{b} = \bar{B}_n$,
- իսկ երբ $\bar{x} = \frac{H_n}{i_p}$, ունենք $\bar{z}_p = 0$ և $\bar{b} = b_p + 2m\bar{z}$:

Ստացված (3.31) հավասարման ածանցյալի համար կունենանք

$$\frac{d\bar{b}}{d\bar{x}} = 2m \left(\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} - i_p \right): \quad (3.32)$$

Տեղադրելով ածանցիալի արժեքը հունային ձևափոխությունների համապիտանի (3.1) հավասարման մեջ ստանում ենք

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} + \frac{2m}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) \left(\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} - i_p \right) = i_0 \bar{d}_{or}^{1/3} \bar{b}^{(4a-10)/3a}, \quad (3.33)$$

կամ

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} \left[1 + \frac{2m}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) \right] = i_0 \bar{d}_{OT}^{1/3} \bar{b}^{(4a-10)/3a} + \frac{2m}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) i_P, \quad (3.34)$$

Կամրջային անցման խնդրի նման ընդունելով, որ (3.34) հավասարման մեջ հունի ինքնասալարկման չափազուրկ $\bar{d}_{OT}$ -ի մեծությունը, առավել ևս դրա 1/3 աստիճանը շատ մոտ է 1-ի և կատարելով պարզեցում ստանում ենք

$$\frac{d\bar{z}}{d\bar{x}} = \frac{i_0 \bar{b}^{(4a-10)/3a} + \frac{2m}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right) i_P}{1 + \frac{2m}{a\beta_0} \left(\frac{a-1}{\bar{b}^{(2a-1)/a}} + \frac{Fr_0}{\bar{b}^{(a+2)/a}} \right)} : \quad (3.35)$$

Դիֆերենցիալ (3.35) հավասարման և խնդրի եզրային (3.31) պայմանի համատեղ լուծումը հնարավորություն է տալիս հաշվարկել սելավապահ պատնեշի դիմաց կուտակված բերվածքների կայունացած s-s մակերևույթի z կոորդինատները:

Հիմք ընդունելով կամրջային անցման հաշվարկային մեթոդի վերլուծման ընթացքում ելքային պարամետրերի արժեքների փոփոխման միջակայքերի ընտրման համար կատարված հիմնավորումը ստորև նմանատիպ վերլուծություն է բերվում սելավապահ պատնեշի հաշվարկային մեթոդի համար: Մասնավորապես, ընդունվում են հետևյալ մեծությունները. $a=3$ և $a=4$; $\beta_0=12$; $Fr_0=5$; $i_0=0,01$ և $i_0=0,03$; $i_P=0,01$ և $i_P=0,03$; $m=ctg \varphi=1$; $B_n=4,2$:

Հաշվարկները կատարվել են MATHCAD ծրագրային փաթեթի միջոցով, ընդ որում, հավասարումների (3.29) և (3.32) համակարգում սելավային կուտակումների s-s մակերևույթի $\bar{z}$ կոորդինատը հաշվարկվում է ըստ հորիզոնական $\bar{x}$ առանցքի: Իսկ կուտակումների փաստացի բարձրություններն որոշվում են z-ի և b-ի համապատասխան չափազուրկ արժեքի ու չափազրկության գծային b_0 ընդունված մասշտաբի արտադրյալով: Սելավաբեր գետերի ելքային պարամետրերի փոփոխման իրատեսական լայն միջակայքերում կայունացած s-s մակերևույթի

դիրքի կանխատեսմանն ուղղված հաշվարկների մի բնորոշ մասը բերված է աղյ. 3.5-3.9 -ում: Ստորև ներկայացված է նաև այդ հաշվարկներում կիրառված ալգորիթմը:

MATHCAD ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ սելավապահ պատնեշի վերին բիեֆում կուտակված բերվածքների վերին մակերևույթի կոորդինատների հաշվարկի ալգորիթմը (MATHCAD 15,0)

$$a := 3 \quad x_0 := 0 \quad z_0 := 0$$

$$b_p := 1.2 \quad B_n := 4.2 \quad m := 1 \quad H_n := 1.5$$

$$\beta_0 := 12 \quad Fr_0 := 5 \quad i_0 := 0.01 \quad i_p := 0.01$$

$$f(x, z) := \frac{i_0 \left[b_p + 2 \cdot m \cdot (z + H_n - i_p \cdot x) \right]^{\frac{4 \cdot a - 10}{3 \cdot a}} + \frac{2 \cdot m}{a \cdot \beta_0} \left[\frac{a - 1}{\left[b_p + 2 \cdot m \cdot (z + H_n - i_p \cdot x) \right]^a} + \frac{Fr_0}{\left[b_p + 2 \cdot m \cdot (z + H_n - i_p \cdot x) \right]^{\frac{a+2}{a}}} \right] \cdot i_p}{1 + \frac{2 \cdot m}{a \cdot \beta_0} \left[\frac{a - 1}{\left[b_p + 2 \cdot m \cdot (z + H_n - i_p \cdot x) \right]^a} + \frac{Fr_0}{\left[b_p + 2 \cdot m \cdot (z + H_n - i_p \cdot x) \right]^{\frac{a+2}{a}}} \right]}$$

Enter the desired solution parameters:

$$x_1 := 80 \quad \text{Endpoint of solution interval}$$

$$N := 10 \quad \text{Number of solution values on } [x_0, x_1]$$

Given

$$z'(x) = f(x, z(x)) \quad z(x_0) = z_0 \quad z := \text{Odesolve}(x, x_1)$$

$$b(x) := b_p + 2 \cdot m \cdot (z(x) + H_n - i_p \cdot x)$$

$$z_p(x) := -H_n + i_p \cdot x$$

Աղյուսակ 3.5

Կուտակումների բարձրության չափազուրկ մեծությունները հակասելավային պատնեշի դիմաց, երբ $a = 3$; $\beta_0 = 12$; $Fr_0 = 5$; $i_0 = i_p = 0,03$

x	0	10	20	30	40	50	60	70	80
b	4,20	4,34	4,48	4,63	4,78	4,93	5,09	5,25	5,41
z	0,00	0,26	0,52	0,78	1,04	1,30	1,57	1,84	2,11
z _p	-1,50	-1,20	-0,90	-0,60	-0,30	0,00	0,30	0,60	0,90

Աղյուսակ 3.6

Կուտակումների բարձրության չափազուրկ մեծությունները հակասեղավային պատնեշի դիմաց, երբ $a = 4$; $\beta_0 = 12$; $Fr_0 = 5$; $i_0 = i_p = 0,03$

x	0	10	20	30	40	50	60	70	80
b	4,20	4,62	5,03	5,53	6,02	6,60	7,18	7,84	8,51
z	0,00	0,40	0,79	1,23	1,66	2,14	2,61	3,13	3,65
z_p	-1,50	-1,20	-0,90	-0,60	-0,30	0,00	0,30	0,60	0,90

Աղյուսակ 3.7

Կուտակումների բարձրության չափազուրկ մեծությունները հակասեղավային պատնեշի դիմաց, երբ $a = 3$; $\beta_0 = 12$; $Fr_0 = 5$; $i_0 = i_p = 0,01$

x	0	10	20	30	40	50	60	70	80
b	4,20	4,27	4,35	4,42	4,50	4,58	4,66	4,74	4,82
z	0,00	0,14	0,27	0,41	0,55	0,69	0,83	0,97	1,11
z_p	-1,50	-1,40	-1,30	-1,20	-1,10	-1,00	-0,90	-0,80	-0,70

Աղյուսակ 3.8

Կուտակումների բարձրության չափազուրկ մեծությունները հակասեղավային պատնեշի դիմաց, երբ $a = 3$; $\beta_0 = 12$; $Fr_0 = 5$; $i_0 = 0,01$; $i_p = 0,03$

x	0	10	20	30	40	50	60	70	80
b	4,20	3,88	3,57	3,24	2,92	2,59	2,27	1,94	1,62
z	0,00	0,14	0,28	0,42	0,56	0,70	0,83	0,97	1,11
z_p	-1,50	-1,20	-0,90	-0,60	-0,30	0,00	0,30	0,60	0,90

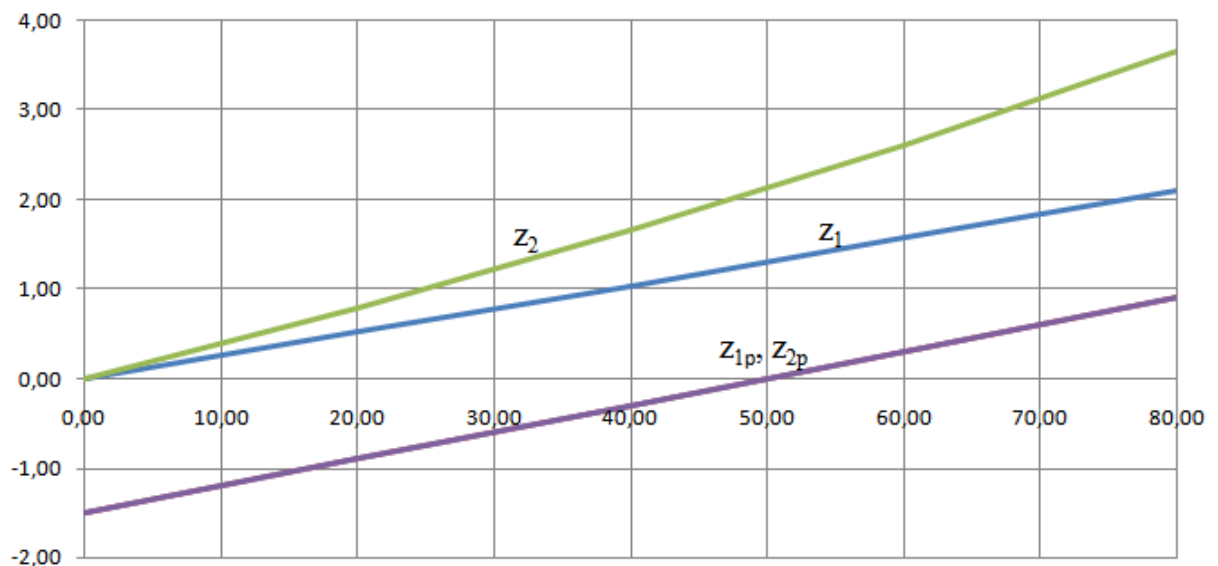
Աղյուսակ 3.9

Կուտակումների բարձրության չափազուրկ մեծությունները հակասեղավային պատնեշի դիմաց, երբ $a = 3$; $\beta_0 = 12$; $Fr_0 = 5$; $i_0 = 0,03$; $i_p = 0,01$

x	0	10	20	30	40	50	60	70	80
b	4,20	4,83	5,47	6,15	6,84	7,57	8,30	9,07	9,84
z	0,00	0,42	0,83	1,28	1,72	2,18	2,65	3,13	3,62
z_p	-1,50	-1,40	-1,30	-1,20	-1,10	-1,00	-0,90	-0,80	-0,70

Հաշվարկների արդյունքները առավել ակնհայտ ներկայացված են նկ. 3.18 - 3.21-ում: Դրանցում աղյուսակային տվյալների հիման վրա կառուցված են սեղավային բերվածքների կուտակման արդյունքում ձևավորված s-s մակերևույթի դիրքը բնորոշող $\bar{z}$ կոորդինատի փոփոխության գրաֆիկներն ըստ $\bar{x}$ -ի: Համեմատության

համար նույն նկարներում բերված են նաև հունի նախկին հատակի դիրքը ներկայացնող $\bar{z}_p$ կոորդինատի փոփոխման գրաֆիկները: Ինչպես նշվել էր հունաձևափոխությունները նկարագրող (2.34) հավասարման քանակական վերլուծության մեջ (ենթագլխում 2.3) հունի նոր հատակի ձևավորման վրա հիմնական ազդեցություն թողնում է սահմանային տեղամասի i_0 թեքությունը: Նշված փաստը շատ պարզ դիտարկվում է նաև նկ. 3.18 - նկ. 3.21-ի գրաֆիկներից: Այդ գրաֆիկներում տեսնում ենք նաև (2.34) հավասարման որակական վերլուծության արդյունքները (ենթագլուխ 2.4), որտեղ ցույց էր տրվում հունաձևափոխության հետևանքով ձևավորվող նոր հատակի հնարավոր տեսքերը:

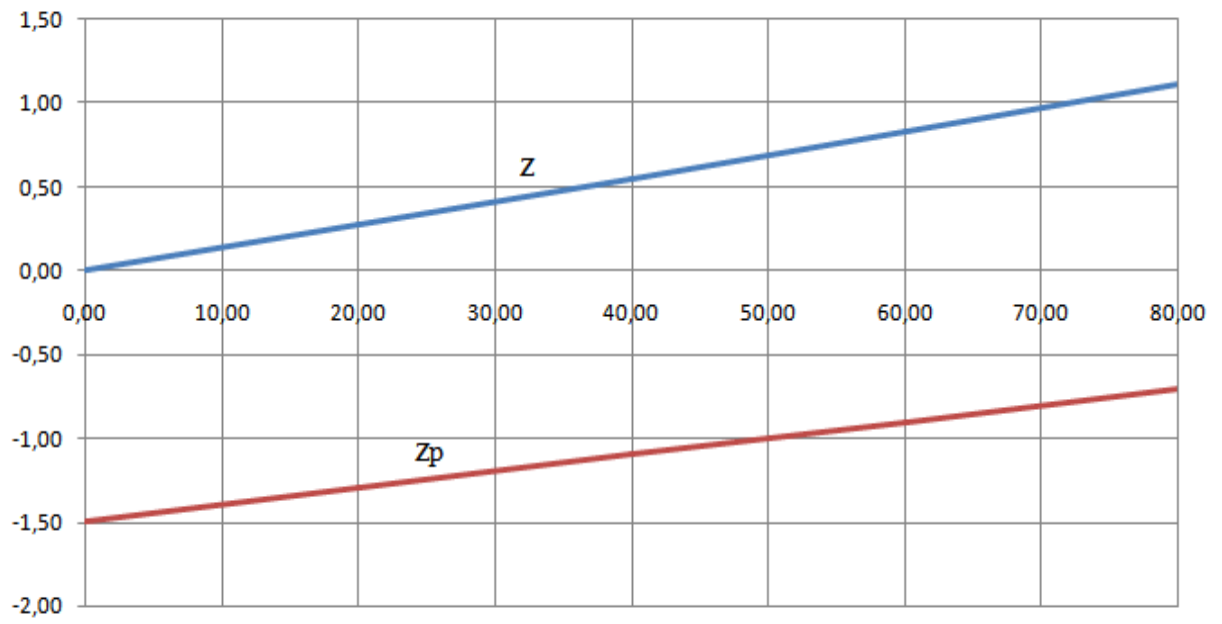


$$a = 3 (z_1 \text{ կոր}); a = 4 (z_2 \text{ կոր}); \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = i_p = 0,03$$

Նկ.3.18 Կուտակումների բարձրության Ողողումների չափազուրկ մեծության փոփոխությունը հակասեւավային պատնեշի դիմաց

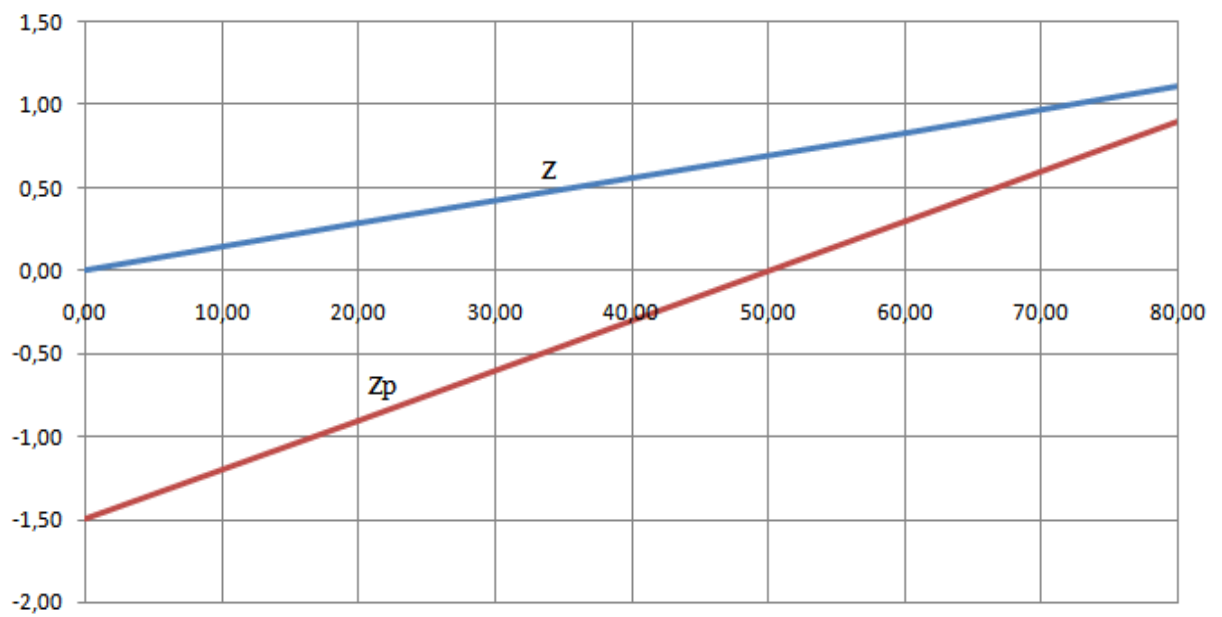
Վերոհիշյալ գրաֆիկներից երևում է, որ այն դեպքերում.

- երբ պատնեշը տեղակայվում է սահմանային տեղամասում, այսինքն $i_p = i_0$, նոր ձևավորված հատակը ձեռք է բերում i_0 թեքությանը շատ մոտ արժեք (նկ. 3.18 և 3.19), ինչը սպասելի էր, քանի որ ջրաբերուկային ելքի հաստատունության պայմաններում այստեղ չպետք է լինի ոչ ողողում, ոչ էլ բերվածքների կուտակում: Այս արդյունքը վերլուծված և ներկայացված է 2.4 ենթագլխում,



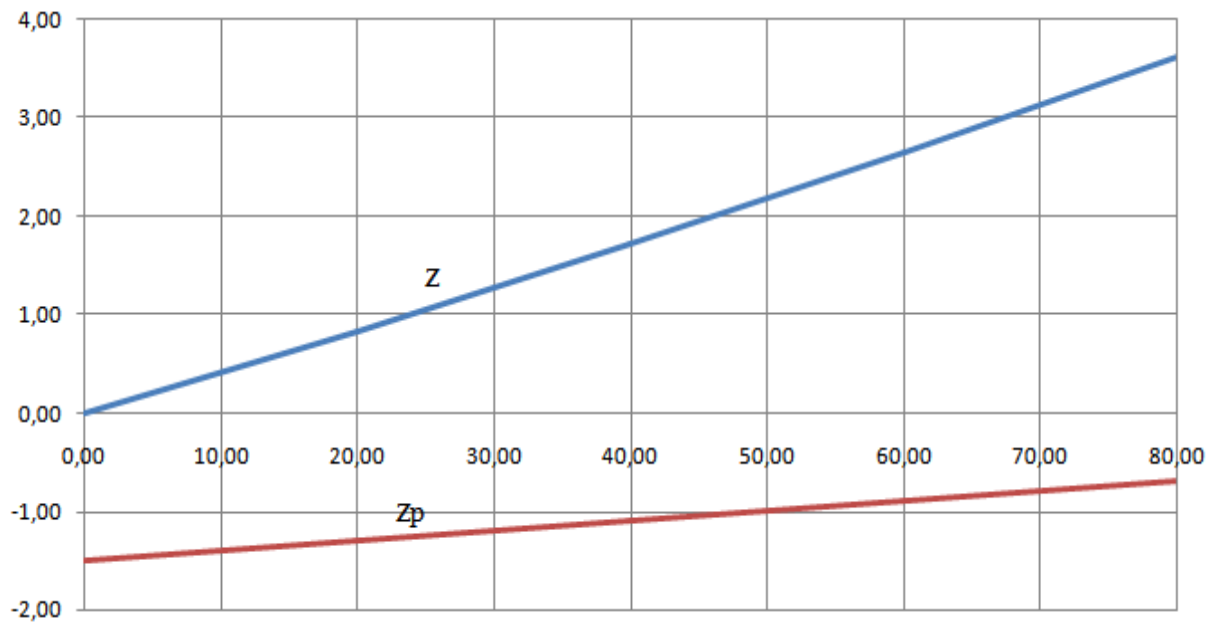
$$a = 3; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = i_p = 0,01$$

Նկ.3.19 Կուտակումների բարձրության չափազուրկ մեծության փոփոխությունը
հակասեղավային պատնեշի դիմաց



$$a = 3; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,01; i_p = 0,03$$

Նկ.3.20 Կուտակումների բարձրության չափազուրկ մեծության փոփոխությունը
հակասեղավային պատնեշի դիմաց



$$a = 3; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,03; i_p = 0,01$$

Նկ.3.21 Կուտակումների բարձրության չափազուրկ մեծության փոփոխությունը
հակասելավային պատնեշի դիմաց

- երբ պատնեշի տեղամասում հունի նախկին i_p թեքությունը ավելի մեծ է սահմանային տեղամասի i_0 թեքությունից նոր ձևավորված հատակը հոսանքին հակառակ մոտենում է նախկին հատակին և պատնեշից որոշակի հեռավորության վրա հատվում նրա հետ (նկ. 3.20): Այս արդյունքը բացատրված է 2.4 ենթագլխում և ներկայացված նկ.2.13 ա-ի գրաֆիկում,

- իսկ երբ պատնեշի տեղամասում հունի նախկին i_p թեքությունը ավելի փոքր է սահմանային տեղամասի i_0 թեքությունից կայունացած նոր հատակը հոսանքին հակառակ հեռանում է նախկին հատակից և չի կարող դրա հետ հատվել: Հունի բնական հատակի հետ հատումը կարող է տեղի ունենալ ջրահոսքի վերին այն տեղամասում, որտեղ բնական հատակի թեքությունները մեծանալով վերազանցել են i_0 -ի մեծությանը (նկ. 3.21): Այս արդյունքը ևս բացատրված ու ներկայացված է 2.4 ենթագլխում (նկ.2.13 բ-ի գրաֆիկ):

Նշել էինք, որ կամրջային անցման դեպքում (ենթագլուխ 3.1) a ցուցիչի ազդեցությունը նոր հատակի դիրքի վրա մեծ չէր և կարող էր հասնել մինչև 10%: Դրան հակառակ սելավապահ պատնեշի դեպքում այս ազդեցությունը էապես մեծանում է և որքան հոսանքով դեպի վեր հեռանում ենք կառուցվածքից, այնքան

ընդգծվում է այդ մեծության ազդեցությունը: Դա ակնհայտ երևում է նկ. 3.21-ի գրաֆիկներում, որտեղ հաշվարկների արդյունքները ներկայացված են $a=3$ և $a=4$ արժեքներին համապատասխանող z_1 և z_2 կորերով: Ինչ վերաբերվում է հունային ձևափոխության վրա ելքային β_0 և Fr_0 մեծությունների ազդեցության գնահատմանը, նշենք, որ պատենշի դեպքը շոշափելի չի տարբերվում կամրջային անցման դեպքից, այսինքն դրանց ազդեցությունը երևույթի վրա եղանակ չի ստեղծում:

Հունային ձևափոխությունների մեկ այլ օրինակ է ջրառի գլխամասային կառուցվածքների մոտ ընթացող ջրաբերուկների կուտակման երևույթը: Այս խնդիրը իր եզրային պայմաններով էապես չի տարբերվում նախորդից, և հաշվի առնելով տվյալ մասնավոր դեպքի պայմանները դրա համար կարելի է համանման եղանակով լուծումներ ստանալ: Այստեղ նշենք, որ ջրառի գլխամասային պատենշների մեծ մասում նախատեսված է լինում մեկ-երկու միջանցիկ սրահ իր փականային սարքերով: Դրանց միջոցով պետք է պարբերաբար իրականացվի կուտակված ջրաբերուկների հիդրավլիկական լվացում-հեռացումը: Սակայն շատ հաճախ լվացման երևույթի կառավարման մեթոդների բացակայության ու նաև վատ շահագործման պատճառով պատենշների դիմացի ծավալները ամբողջովին լցվում են ջրաբերուկներով և շատ լուրջ խնդիրներ ստեղծում ջրառի համար: Հիդրավլիկական լվացման երևույթի մաթեմատիկական նկարագրման ուղղությամբ հեղինակի կողմից կատարվել են որոշակի ուսումնասիրություններ [94]: Սակայն այս կարևոր խնդրի ամբողջական հետազոտումն ու լուծումը թողնվում է հետագա աշխատանքներում կատարելու համար:

Բնական պատճառներից առաջացող ուղղաձիգ հունաձևափոխությունների շատ կարևոր տեսակ է գետաբերաններում էրոզիայի բազիսի բարձրացման կամ իջեցման հետևանքով հունում առաջացող փոփոխությունների կանխատեսումը: Այս խնդրի լուծումը ևս հնարավոր է իրականացնել ատենախոսության գլուխ 2-ում մշակված համապիտանի տեսության կիրառման միջոցով: Հաշվի առնելով մասնավոր գետի գետաբերանում ստեղծվելիք հնարավոր եզրային և նախնական պայմանները մեր կողմից կատարվել են որոշակի մշակումներ [97]: Այս խնդրի վերջնական լուծումը ևս պահանջում է բավականաչափ մանրակրկիտ ուսումնասիրություններ և դրանք կկատարվեն հետագա աշխատանքներում:

Եզրակացություններ և առաջարկություններ 3-րդ գլխի վերաբերյալ

Ատենախոսության այս գլխում կատարված ուսումնասիրությունները հնարավորություն են տալիս.

1. Ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների կանխատեսման համար մշակված համապիտանի տեսական մոդելի կիրառմամբ ստանալ հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների մոտ ընթացող երևույթների բնութագրերը հաշվարկելու մեթոդներ, մասնավորապես, առաջարկել՝

- կամրջային անցումներում հունի ողողումների մեծության որոշման մեթոդ,
- սելավապահ պատնեշների դիմաց կուտակված բերվածքների կայունացած մակերևույթի կորոդինատների հաշվարկային մեթոդ:

2. Ջրահոսքի և կառուցվածքի ելքային պարամետրերի փոփոխման իրատեսական միջակայքում՝ կամրջային անցումներում ողողումների խորության և սելավապահ պատնեշների մոտ կուտակված բերվածքների բարձրության որոշման համար կատարված հաշվարկներով և արդյունքների վերլուծությամբ հիմնավորել առաջարկվող մեթոդների հավաստիությունը և կիրառելիության լայն շրջանակը:

3. Ուսումնասիրության արդյունքները օգտագործել շահագոգիռ կազմակերպությունների կողմից՝ կանխատեսելու կառուցվածքների մոտ հունային ձևափոխությունների հնարավոր զարգացումներն ու դրանց կայունացման տեսքերը:

4. Տեսական մոդելը կիրառել նոր հունում ընթացող շարժումների հիդրավիկական պարամետրերի հաշվարկային մեթոդներ մշակելու, ինչպես նաև բնական և արհեստական ծագման այլ տեսակի ձևափոխությունների, այդ թվում գետաբերաններում առաջացող հունային երևույթների արդյունքները կանխատեսելու համար:

ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԵՎ ԱՌԱՋԱՐԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

Ատենախոսական աշխատանքում կատարված ուսումնասիրությունների արդյունքները կարելի է ամփոփել հետևյալ հիմնական եզրակացություններով և առաջարկներով.

1. Գրականությունում առկա առաջարկների վերլուծությամբ ցույց է տրվել բոլոր տեսակի հունային ձևափոխություններն ընդհանրացնող դրվածքի և դրա հիման վրա կառուցված մաթեմատիկական մոդելի բացակայությունը, որոնք կարող էին դառնալ հիմնահարցում առկա մասնավոր խնդիրների լուծման հիմքը: Դրա հետ մեկտեղ հունաձևափոխությունների մասնավոր խնդիրներում ի հայտ են բերվել մի շարք էական թերություններ և սխալներ, որոնք հետևանք են դիտարկվող երևույթի և այն պայմանավորող գործոնների թերի ընկալմանը:

2. Բացահայտվել և մեկնաբանվել է ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների ավարտական, կայունացած փուլի ֆիզիկական նկարագիրը, պարզաբանվել և սահմանվել քննարկվող երևույթի մասնավոր դեպքերը ընդհանրացնող դրվածք, հիմնավորվել են ընդունված դրույթներն ու կանխավարկածները:

3. Պարզաբանվել և հիմնավորվել է հունային ձևափոխությունների մաթեմատիկական մոդելավորման ընդհանուր հայեցակարգն ու օգտագործվող հավասարումների կիրառելիության սահմանները, կատարվել են երևույթը պայմանավորող մի շարք մեծությունների ճշգրտումներ: Դրանց հիման վրա մշակվել է ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների կանխատեսման համապիտանի տեսական մոդել:

4. Հունի և հոսանքի բնօրինակային տարբեր ելքային պայմանների համար քանակապես գնահատվել է ստացված հավասարումների առանձին անդամների ազդեցությունը կանխատեսվող երևույթի բնութագրի վրա, իսկ որակական վերլուծություններով պարզվել հունաձևափոխությունների արդյունքում հաստատված ջրահոսքի հատակի երկայնական հնարավոր տեսքերը:

5. Փորձական տվյալների մշակման միջոցով առաջարկվել է բնական հունների ձևաչափական պարամետրերի որոշման օրինաչափություններ և նշվել դրանց

կիրառման հնարավորությունը հունների արհեստական փոփոխությունից հետո հաստատվող նոր պայմանների կանխատեսման նպատակով:

6. Ուղղաձիգ հունային ձևափոխությունների կանխատեսման համապիտանի տեսական մոդելը կիրառմամբ ստացվել են հիդրոտեխնիկական կառուցվածքներում հունային փոփոխությունների հաշվարկային մեթոդներ, մասնավորապես՝

- կամրջային անցման տեղամասերում հունային ողողումների խորության որոշման մեթոդ,

- սելավապահ պատնեշների դիմաց կուտակված բերվածքների կայունացած մակերևույթի կոորդինատների կանխատեսման մեթոդ:

7. Ջրահոսքերի բնօրինակային պայմանների փոփոխման իրատեսական միջակայքերում կատարվել են կամրջային անցումներում ողողումների խորության և սելավապահ պատնեշների դիմաց կուտակված բերվածքների բարձրության հաշվարկներ: Դրանց արդյունքների վերլուծություններով հիմնավորել է առաջարկվող մեթոդների հավաստիությունը և կիրառելիության լայն շրջանակը:

8. Ուսումնասիրության արդյունքները կարող են օգտագործվել շահագործող կազմակերպությունների կողմից կանխատեսելու կառուցվածքների մոտ հունային ձևափոխությունների հնարավոր զարգացումներն ու դրանց կայունացման տեսքերը:

9. Հունաձևափոխությունների տեսական մոդելը կարող է կիրառվել նաև ջրահոսքերում առաջացող բնական և արհեստական ծագման այլ ձևափոխությունների, այդ թվում գետի էրոզիոն բազիսի փոփոխման հետևանքով կամ ջրառի գլխամասային հանգույցներում առաջացող հունային երևույթների արդյունքները կանխատեսելու համար:

Օգտագործված գրականության ցանկ

1. **Котенко Т.А., Котенко Л.В.** Дождевые сели 4 сентября 2017 г. в северной части острова Парамушир, Курильские острова. //Журнал «Геориск», том XII, № 3/2018.- С. 34-46.
2. **Олиферов А.Н.** Селевые потоки в Крыму и Карпатах. – Симферополь: Доля, 2007. – 176с.
3. **Большаков В.А. и др.** Гидрологические и гидравлические расчеты малых дорожных сооружений. – Киев: Высшая школа, 1983. – 280с.
4. **Laursen E.M.** Scour at bridge crossings. – Jurn. of Hydraulics, Div., Pr. ASCE, v.86, № H12, 1960. - P. 91 - 102.
5. **Латышенков А.М.** Вопросы гидравлики искусственно сжатых русел. – М.: Стройиздат, 1960. – 215с.
6. **Neill C.R.** Measurements of bridge scour and bed changes in a flooding sand – bed river. – Proceedings of the Institution of Civil Engineers. V.30, Febr., 1965. - P. 415 - 435.
7. **Андреев О.В.** Проектирование мостовых переходов. – М.: Транспорт, 1980. – 208с.
8. **Федотов Г.А.** Расчет мостовых переходов с применением ЭЦВМ. – М.: Транспорт, 1977. – 208с.
9. **Лапшенков В.С.** Расчет заиления подпертых бьефов. //Ж. «Гидротехническое строительство», 1957, № 3. - С. 47-50.
10. Русловые процессы в верхних и нижних бьефах водохранилищ ГЭС и ГАЭС //СЭВ. Постоянная комиссия по электроэнергии. – М.: 1976. – 128с.
11. **Тевзадзе В.И.** Методика расчета параметров селевых потоков и конструкций противоселевых сооружений, применяемых в Японии. //ЦБНТИ Минводхоза СССР, Обзорная информация, №12. - М.: 1977. – 48с.
12. **Каганов Я.И.** Исследование русловых переформирований горных потоков Карпат при регулировании их системой запруд. //Автореф., Ровно: 1971.– 20с.

13. **Зиновьев А.Т., Марусин К.В., Шибких А.А., Шлычков В. А.** Математическое моделирование динамики течения и русловых деформаций на участке р. Обь у г. Барнаула /Пользуновский Вестник N.2 , Барнаул: Изд. АлтГТУ, 2006. – С. 204-209.
14. **Беликов В.В., Семенов А.Ю.** Численный метод распада разрыва для решения уравнений теории мелкой воды //ЖВМиМФ. – 1997. – Т. 37. – № 8. – С. 1006-1019.
15. **Деговец А.С., Козьминых Э.Р.** Некоторые результаты исследований сквозного селеуловителя на реке Акжар //Сб. науч. тр. «Проблемы противоселевых мероприятий». -Алма-Ата: Изд. Казахстан, 1984.- С. 45 - 56.
16. **Клавен А.Б., Копалиани З.Д.** Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и русловых процессов. Нестор-История. СПб, 2011,504с.
17. **Олиферов А.Н.** Селевые потоки в Крыму и Карпатах. – Симферополь: Доля, 2007. – 176с.
18. **Антроповский В. И.** Основные положения гидролого-морфологической теории руслового процесса при исследовании искусственных и преобразованных водотоков //Труды Зап.-Сиб. рег. НИГМИ. 1985. Вып. 72. С. 85–98.
19. **Попов И. В.** О терминах «динамика русловых потоков» и «русловой процесс» /Сб. научных трудов (межвузовский) «Динамика русловых потоков». Л., Изд. ЛПИ, 1987, вып. 98, с. 20—22.
20. **Кондратьев А.Н.** О гипотезах причин формирования русел. //Ж. «Водные ресурсы». Т.28, N5, 2001. – С. 628 - 630.
21. **Бадура Х., Кноблаух Г., Шнайдер Й.** Граничные условия при организации промывки, препятствующей заилению ГЭС Бодэндорф. Гидротехнические сооружения. <Европейский технический институт>, 2008, С. 42 – 45.
22. **Лохтин В. М.** О механизме речного русла. — СПб.: Типография министерства путей сообщения, 1897. — 77с.
23. **Маккавеев В.М.** О теориях движения турбулентных потоков, содержащих взвешенные наносы. – Изд. АН СССР, ОТН, N2.- 1952- С. 262-279.
24. **Великанов М.А.** Динамика русловых потоков. - М.: ГИТТЛ, т.1, т.2. 1955.– 323с.
25. **Леви И.И.** Динамика русловых потоков. - М-Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 250с.

26. **Гришанин К.В.** Динамика русловых потоков. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 311с.
27. **Einstein H.A.** The bed – load function for sediment transportation in open channel flows /Techn. Bull. N1026., U.S. Dept. of Agriculture SCS. Vashington 1950.- 71p.
28. **Bagnold R.A.** The natur of saltation and of bed-lod transport in water. – Proc. Roy. Soc. Lo, A 332, N1591, 1973.- P. 473 – 504
29. **Vanoni V.A.** Factors Determining Bed Forms of Alluvial Stream /National Acad. of Sciencis (US)–Jurnal of the Hydraulics Division, vol. 100, N3,1974.- P. 363-377.
30. **Lane E.W., Borland W.M.** River-bed scour during floods /Amer. Soc. Civil Engineers Transp., v. 119, 1954- P. 1069-1089.
31. **Schumm S. A.** The shape of alluvial channels in relation to sediment type /U.S. Geol. Survey Prof. Paper 352-B, 1960- P. 17-30.
32. **O'Brian M. P.** Review of the theory of turbulent flow and its relation to sediment transportation /Amer. Geophys. Union Trans., v. 14, 1983- P. 487- 491.
33. **Ананян А.К.** Исследование продольного профиля реки при непрерывном понижении базиса эрозии. //Результаты исследований по Севанской проблеме. – Ереван: Изд. АН Арм ССР, Т.2. Русловые процессы. 1962- С. 47 - 56.
34. **Аннаев С.А., Аидов Х.Н.** К вопросу формирования русел в песчаных грунтах. //Сб. ИВП АН СССР «Динамика и термика рек».-М.: Стройиздат,1973.- С.267-275.
35. **Саноян В.Г., Похсрарян М.С.** Морфологические зависимости речных русел при переменном по течению уклоном дна. //Тр. V Всесоюзного гидрологического съезда. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. Т.10, книга 1. – С. 131-140.
36. **Артамонов К.Ф., Крошкин А.Н., Талмаза В.Ф.**Методические рекомендации по расчету устойчивых аллювиальных русел горных рек при проектировании гидросооружений.-М.: Колос,1972.-64 с.
37. **Караушев А.В.** Речная гидравлика. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 416с.
38. **Россинский К.И.** Речные наносы. – М.: Наука, 1980. – 216с.
39. **Великанов М.А.** К вопросу о гравитационной теории движения взвешенных наносов. – Изд. АН. СССР, ОН, N 1, 1951- С. 44-58.
40. **Barenblatt G. I.** Scaling phenomena in fluid mechanics. Cambridge University Press, 1994. 50 p.

41. **Саноян В.Г.** Определение транспортирующей способности потока применительно к напорному гидротранспорту //Тр. координац. совещаний по гидротехнике, Вып. 57,1971.- С. 4-8.
42. **Натшивили О.Г.** О некоторых особенностях движения взвесенесущего потока в открытых руслах //Труды координ. совещаний по гидротехнике. - Л.: Энергия,. Вып. 36,1967. - С. 33-42.
43. Ресурси поверхностных вод СССР, том 9. вып. 4. Восточное Закавказье. Гидрометеиздат, Л.: 1971.- 227 с.
44. **Թորմաշյան Լ.Վ.** Լեռնային պայմաններում իրականացվող հիդրոկառուցվածքների հաշվային մեթոդների մշակումը և անվտանգ շահագործման ապահովման խնդիրները /Ատենախոս., տեխն.գիտ. դոկտորի, Երևան, 2011.-221 էջ:
45. **Шамов Г.И.** Речные наносы. - Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 378с.
46. **Гончаров В.Н.** Динамика русловых потоков. - Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 373с.
47. **Юфин А.П.** Движение наносов и гидравлический транспорт. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 199с.
48. **Ш.Р. Поздняков, М.В. Шмакова** Сравнительный анализ формул расхода влекомых наносов на примере реки Ала-арча (Киргизское Алатау) /Матер. 2-ой Всероссийской Школы-конференции <Экосистемы малых рек: экология, охрана>, том II, Борок, 2014.- С. 320-323.
49. **Craf W.H.** Hydraulics of Sediment Transport – Water Resources Publications, LLC. 1984.– 524 p.
50. **Van Rijn L. C.** Sediment transport by Cur-rents and Waves. The Handbook. – Delft Hydraulics, 1989. – 360 p.
51. **Белолипецкий В.М., Генова С.Н.** Вычислительный алгоритм для определения динамики взвешенных и донных наносов в речном русле /Ж. Вычислительные технологии, Том 9, N2, Красноярск, 2004.-С.9-25.
52. **Магомедова А.В., Гусейнова М.Р., Насибова Н.В.** Разработка программного комплекса для расчета транспорта руслоформирующих наносов в речных руслах с использованием ГИС-технологий //Вестник ДГТУ, Серия Тех. науки. №15, Махачкала, 2009.-С.147-156.

53. **Ануфриев В.Е.** Защита населенных мест от затопления // Известия Мин. коммуна. хоз. РСФСР. – М.: 1958. – 126с.
54. **Сальников П.И.** О защите городов Забайкалья от ливней и селей. Владивосток: 1965. – 118с.
55. **Боярский И.Я.** Исследование уклона линии занесения противоселевых запруд. – В сб.: Теоретические и прикладные вопросы географии. Тезисы докладов (МГУ, Геогр. факультет). М.: 1971.- с.114-115.
56. **Херхеулидзе И.И.** Сквозные защитные и регулирующие сооружения из сборного ж/б на горных реках. – М.: Гидрометеиздат, 1967. – 131с.
57. **Исмагилов Х.А.** Гидравлические основы расчета противоселевых сооружений для предгорной зоны Средней Азии. // Автореферат докт. техн. наук - М.: 1991. – 46с.
58. **Балджян П.О.** О методике расчета руслоформирующего процесса в верхнем бьефе селевых и паводковых задерживающих сооружений //Материалы V Всероссийской. н/т конференции, ч.1. – Красноярск, 2007.- С. 334 - 340.
59. **Балджян П.О.** Определение зависимости между гидравлическими параметрами потоков при постоянстве их наносонесущей способности //Известия НАН РА и ГИУА. Серия ТН. Т.58, N2. - Ереван, 2005.- С. 380 - 385.
60. **Алтунин С.Т.** Регулирование русел рек при водозаборе. М.: Сельхозгиз,1950.- 248 с.
61. **Ярословцев И.А.** Расчетные параметры к определению деформаций на мостовых переходах. – М.: 1956. – 26с.
62. **Латышенков А.М.** Вопросы гидравлики искусственно сжатых русел. – М.: Стройиздат, 1960. – 215с.
63. **Абрамов Ю. В., Федотов Г. А., Глаголева Т. Н., Андреев О. В.** Основы расчета мостовых переходов. Высшая школа. М.:1971.-148 с.
64. **Laursen E.M., Toch A.F.** Scour around bridge piers and abutment. Bulletin N 4, Iowa Highway Research Board, Ames, Iowa, 1956.-P. 18 - 25.
65. **Streeter V.L.** Handbook of Fluid Dynamics.Pub.:McGraw Hill Text,USA, 1961.-1228p.
66. **Melville B.W., Raudkivi A.J.** Flow Characteristics In Local Scour at Bridge Piers. J. Hydr.Res., Vol. 15, 1977.-P. 373-381.
67. **Ротенбург И.С. и др.** Проектирование мостовых переходов через большие

- водотоки. – М.: Высшая школа, 1965. – 336с.
68. **Журавлев М. М.** Местный размыв у опор мостов – М.: Transport, 1984. – 111с.
69. **Федотов Г.А.** Изыскания и проектирование мостовых переходов – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 304 с. .
70. **Пуркин В.И., Холин А.С.**Проектирование мостовых переходов /МАДИ,М.:2014.-60 с.
71. Атаманова О.В. Расчет и проектирование мостовых переходов через реки /Методические указания, Бишкек, КРСУ, 2008.-43с.
72. **Карапетян Г. И., Седракян А.С.** Аналитический метод расчета деформации дна мостовых переходов горных рек //Вестник ГИУА <Гидрология и гидротехника>, № 2, Ереван, 2014.- С.46-51.
73. **Маккавеев Н.И., Чалов Р.С.** Русловые процессы. – М.: МГУ, 1988. – 264с.
74. **Знаменская Н.С.** Гидравлическое моделирование русловых процессов. – Л.: Гидрометеиздат, 1992. – 240с.
75. **Кондратьев А.Н.** О гипотезах причин формирования русел // Водные ресурсы. Т.28, N5, 2001. – С. 628 - 630.
76. **Ермаков А.С.** Развитие продольных профилей и морфодинамика русел рек в бассейне р. Большой //Общие и прикладные эрозионных и русловых процессов. М.:Изд. МГУ, 2006.-С.94-106.
77. **Магомедова А.В., Гуруев М.А.** Результаты компьютерного моделирования гидравлических процессов на устьевом участке русла р. Терек с использованием программного комплекса TerekFloodGIS // Вестник ДГТУ. Техн. науки. – Вып. 11. – Махачкала, 2008. – С. 123-129.
78. **Балджян П.О., Балджян В.П.** Руслоформирующие явления у селезащитных сооружений. Методы расчета их параметров. LAP Lambert Academic Publishing, Germany-Latvia, 2018.- 57 с.
79. **Балджян В.П.** Разработка теоретических основ установившейся стадии руслового преобразования /Известия НАН Армении и НПУА, Серия ТН. том 72, № 1,Ер.: 2019.- С. 131-140.

80. **Айвазян О.М.** О гидравлическом сопротивлении турбулентных потоков в открытых руслах // Аннотации законченных в 1961г. НИ работ по гидротехнике. - М. - Л.: Госэнергоиздат, 1963.- С. 361 – 364.
81. **Алекперов А.А.** Исследование закономерностей сопротивления равномерных потоков в руслах с искусственной шероховатостью //Автореф. канд. тех. наук. - М.: 1974. – 22с.
82. **Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н.** Гидроморфометрические характеристики горных рек. – Фрунзе: Киргизстан, 1969. – 204с.
83. **Балджян П.О., Язулян А.М.** Определение сопротивления при движении селевого потока //Сб. Проблемы противоселевых мероприятий. – Алма-Ата: Казахстан, 1986. - С. 31 - 35.
84. **Tokmajyan H.V., Sarukhanyan A.A., Baljyan P.H.** Boundaries of applicability of liquids flow regularities for mud flows /International Symposium on “Floods and modern methods of control measures” 23-28 september, Tbilisi, 2009.-P. 492-494.
85. Саноян В.Г. Теория транспортирующей способности потока и ее приложения к разработке новых конструкции гидротехнических сооружений и проблемам руслоформирования //Автореферат, ВНИИИВОДГЕО. - М.: 1990. – 48с.
86. **Башкиров Г.С.** О распределении скоростей по вертикали турбулентного потока // В кн. Гидравлика и гидротехника, - Киев: Техника, 1966.- С. 16-20.
87. **Baljyan V.P., Tokmajyan V.H., Babayab G.R.** Possible Gradelines of Channel Transformations /Collected Papers IX Intern. Scientific and Technical Confer. “Modern Problems of Water Management, Architecture and Construction”, 22-27 July, Tbilisi, 2019.- P. 28-32.
88. **Акопян Г.К., Мурадян Э.К.** Исследования русловых деформаций. //Вестник АУА, № 2-Ер.- 2009.- С.71-74.
89. **Бададжян Г.С., Балджян П.О.** К экспериментальному исследованию русловых деформаций мостовых переходов через горные реки. //Тезисы докл. 4-ой н/т конференции по водному хозяйству. -Ер.:Айастан, 1982.- С. 26-28.
90. **Балджян В.П.** К методу расчета гидроморфометрических параметров русел рек // Сб. научных трудов институт водного хозяйства им. Ц. Е. Мирцхулава Грузинского технического университета, №73, Тб.: 2018.-С. 9-16.

91. **Балджян П.О., Балджян В.П.** Прогноз режима наносов в водохранилище /Вестник межд. общ. Академии экологической безопасности и природопользов., вып. 14 (21), М.: 2013.- С. 11-21.
92. **Baljyan V.P.** Application of Mudflow Protection Structure With the purpose of Reducing the Dead Capacity of the Reservoir (On the Example of Mastara Reservoir) /Collected Papers VIII Intern. Scientific and Technical Conference “Modern Problems of Water Management, Architecture and Construction”, Tbilisi, 2-5 november, 2018.- P. 9-12.
93. **Բալջյան Վ.Պ., Բաբայան Գ.Ռ.** Հունային ողողումների կանխատեսման մեթոդի մշակումը կամրջային անցումներում /Տեղեկագիր ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ, սերիա տեխն. գիտություններ, հատոր 72, N3 (տպագր. մեջ):
94. **Балджян П.О., Балджян В.П.** Математическое описание процесса смыва потоком несвязанного однородного грунта /Сб. 5-ой межд. н/т конференции «Современные проблемы водного хозяйства и охраны окруж. среды», Тбилиси, 2015.- С. 13-16.
95. **Токмаджян В.О., Балджян П.О., Баюнц А.В.** Прогноз положения поверхности отложений на верхнем бьефе селезащитных сооружений //Статьи V межд. конферен. «Селевые потоки, риск, катастрофы, прогноз, защита», Тбилиси-Телави, 1 - 5 октября 2018.- С. 283-288.
96. **Բալջյան Վ.Պ., Կարապետյան Հ.Ի., Բալջյան Պ.Հ., Բաբայան Գ.Ռ.** Սելավային կուտակումների վերին մակերևույթի դիրքի որոշման եզրային պայմանը /Լրաբեր, ՀԱՊՀ հիմնադրամ գիտ. հոդվածների ժողովածու, մաս 2, «Ճարտարագետ», Երևան, 2019.- էջ 359-362:
97. **Baljyan P.H., Tokmajyan V.H., Baljyan V.P., Babayab G.R.** About the Propagation of Sediment At Rion River Mouth //Collected Papers IX Intern. Scientific and Technical Confer. “Modern Problems of Water Management, Architecture and Construction”, 22-27 July, Tbilisi, 2019.- P. 33-37.

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 1

Աղյուսակ 1

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ

$$a = 3; \beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = i_p = 0,01$$

x	-1,400	-1,002	-0,744	-0,474	-0,300	0,300	0,546	0,860	1,123	1,414
b	1,000	0,889	0,816	0,741	0,692	0,524	0,455	0,367	0,294	0,212
z	0,000	-0,017	-0,030	-0,046	-0,059	-0,053	-0,031	-0,007	0,011	0,028
z*	0,000	-0,021	-0,036	-0,056	-0,070	-0,070	-0,051	-0,030	-0,015	0,000

Աղյուսակ 2

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ

$$a = 4; \beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = i_p = 0,01$$

x	-1,400	-1,066	-0,781	-0,535	-0,300	0,300	0,497	0,860	1,182	1,470
b	1,000	0,906	0,827	0,758	0,692	0,524	0,469	0,367	0,277	0,196
z	0,000	-0,013	-0,026	-0,039	-0,055	-0,050	-0,033	-0,007	0,013	0,029
z*	0,000	-0,016	-0,032	-0,048	-0,066	-0,067	-0,052	-0,030	-0,013	0,000

Աղյուսակ 3

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ

$$a = 3; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = i_p = 0,03$$

x	-1,400	-1,085	-0,766	-0,515	-0,300	0,300	0,541	0,875	1,172	1,450
b	1,000	0,912	0,823	0,752	0,692	0,524	0,457	0,363	0,280	0,202
z	0,000	-0,009	-0,022	-0,035	-0,049	-0,032	-0,003	0,033	0,061	0,086
z*	0,000	-0,019	-0,041	-0,062	-0,082	-0,083	-0,061	-0,035	-0,016	0,000

Աղյուսակ 4

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ

$$a = 4; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = i_p = 0,03$$

x	-1,400	-1,028	-0,784	-0,511	-0,300	0,300	0,579	0,875	1,402	1,567
b	1,000	0,896	0,828	0,751	0,692	0,524	0,446	0,363	0,215	0,169
z	0,000	-0,008	-0,016	-0,027	-0,038	-0,023	0,006	0,033	0,076	0,089
z*	0,000	-0,019	-0,034	-0,054	-0,071	-0,074	-0,054	-0,035	-0,008	0,000

Աղյուսակ 5

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ
 $a = 3; \beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = 0,03; i_p = 0,03$

x	-1.400	-1.114	-0.813	-0.557	-0.300	0.300	0.429	0.766	1.137	1.476
b	1.000	0.920	0.836	0.764	0.692	0.524	0.488	0.393	0.290	0.195
z	0.000	-0.006	-0.015	-0.025	-0.038	-0.021	-0.007	0.027	0.059	0.086
z*	0.000	-0.014	-0.032	-0.050	-0.071	-0.072	-0.062	-0.038	-0.017	0.000

Աղյուսակ 6

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ
 $a = 4; \beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = 0,03; i_p = 0,03$

x	-1.400	-1.080	-0.838	-0.540	-0.300	0.300	0.429	0.947	1.337	1.606
b	1.000	0.910	0.843	0.759	0.692	0.524	0.488	0.343	0.234	0.158
z	0.000	-0.006	-0.012	-0.023	-0.035	-0.020	-0.007	0.040	0.071	0.090
z*	0.000	-0.015	-0.029	-0.049	-0.068	-0.071	-0.062	-0.030	-0.011	0.000

Աղյուսակ 7

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ
 $a = 3; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,01; i_p = 0,01$

x	-1.400	-1.068	-0.713	-0.474	-0.300	0.300	0.504	0.857	1.160	1.417
b	1.000	0.907	0.808	0.741	0.692	0.524	0.467	0.368	0.283	0.211
z	0.000	-0.016	-0.038	-0.056	-0.071	-0.065	-0.044	-0.013	0.011	0.028
z*	0.000	-0.020	-0.045	-0.065	-0.082	-0.082	-0.063	-0.035	-0.015	0.000

Աղյուսակ 8

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ
 $a = 4; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,01; i_p = 0,01$

x	-1.400	-0.999	-0.598	-0.419	-0.300	0.300	0.504	0.900	1.160	1.470
b	1.000	0.888	0.775	0.725	0.692	0.524	0.467	0.356	0.283	0.197
z	0.000	-0.017	-0.038	-0.050	-0.058	-0.054	-0.036	-0.006	0.011	0.029
z*	0.000	-0.021	-0.046	-0.060	-0.069	-0.071	-0.055	-0.029	-0.015	0.000

Աղյուսակ 9

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ
 $a = 3; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,01; i_p = 0,03$

x	-1.400	-1.113	-0.601	-0.300	0.789	1.155	2.852	3.426	4.008	4.535
b	1.000	0.920	0.776	0.692	0.387	0.284	-0.191	-0.351	-0.514	-0.662
z	0.000	-0.014	-0.046	-0.071	-0.018	0.010	0.101	0.124	0.144	0.161
z*	0.000	-0.023	-0.070	-0.104	-0.084	-0.066	-0.026	-0.021	-0.018	-0.017

Աղյուսակ 10

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ
 $a = 4; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,01; i_p = 0,03$

x	-1.400	-1.078	-0.561	-0.300	0.775	1.155	2.706	3.388	3.919	4.554
b	1.000	0.910	0.765	0.692	0.391	0.284	-0.150	-0.341	-0.489	-0.667
z	0.000	-0.013	-0.041	-0.058	-0.015	0.010	0.086	0.112	0.130	0.150
z*	0.000	-0.023	-0.066	-0.091	-0.080	-0.066	-0.037	-0.032	-0.029	-0.028

Աղյուսակ 11

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ
 $a = 3; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,03; i_p = 0,01$

x	-1.400	-1.083	-0.803	-0.567	-0.300	0.300	0.446	0.529	0.669	0.764
b	1.000	0.911	0.833	0.767	0.692	0.524	0.483	0.460	0.421	0.394
z	0.000	-0.003	-0.008	-0.016	-0.027	0.002	0.023	0.034	0.053	0.065
z*	0.000	-0.012	-0.026	-0.041	-0.060	-0.049	-0.032	-0.024	-0.009	0.000

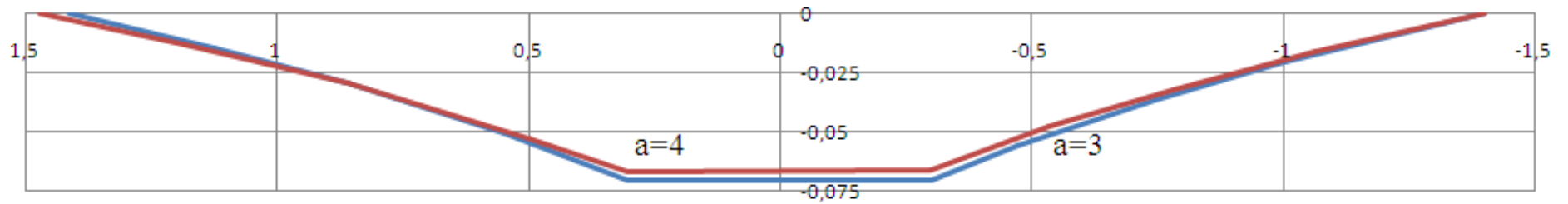
Աղյուսակ 12

Ողողումների չափազուրկ մեծությունները կամրջային անցման տեղամասում, երբ
 $a = 4; \beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,03; i_p = 0,01$

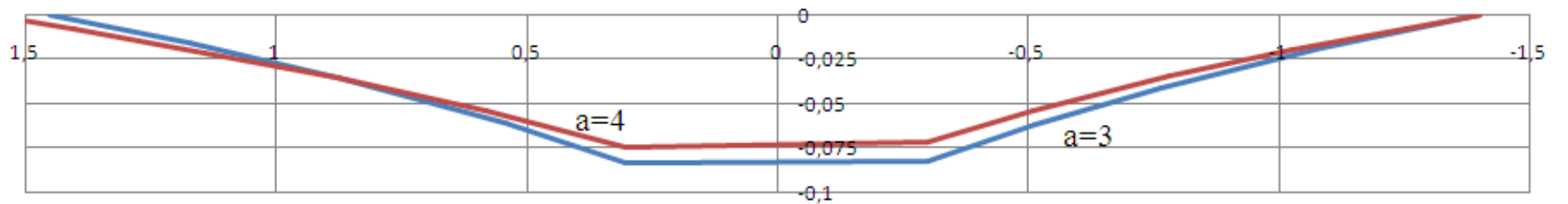
x	-1.400	-1.068	-0.733	-0.502	-0.300	0.300	0.403	0.511	0.635	0.742
b	1.000	0.907	0.813	0.749	0.692	0.524	0.495	0.465	0.430	0.400
z	0.000	0.000	-0.004	-0.010	-0.016	0.011	0.024	0.037	0.052	0.064
z*	0.000	-0.010	-0.024	-0.036	-0.049	-0.040	-0.030	-0.020	-0.009	0.000

ՀԱՎԵԼՎԱԾ 2

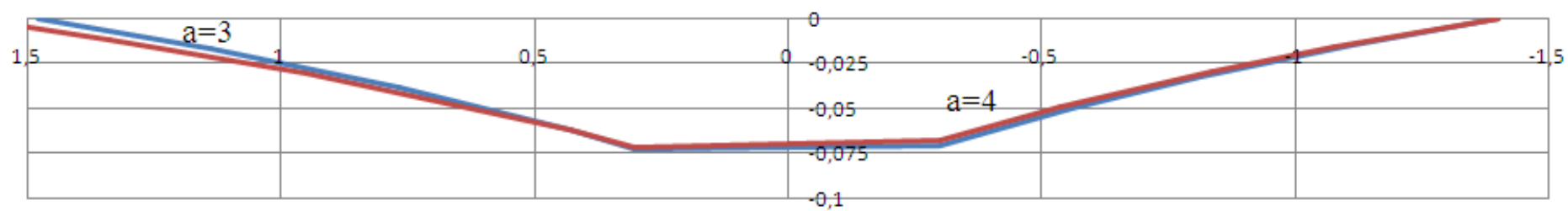
Ողողումների չափազուրկ մեծության փոփոխությունը կամրջային անցման երկայնքով ջրահոսքի տարրեր պայմանների համար



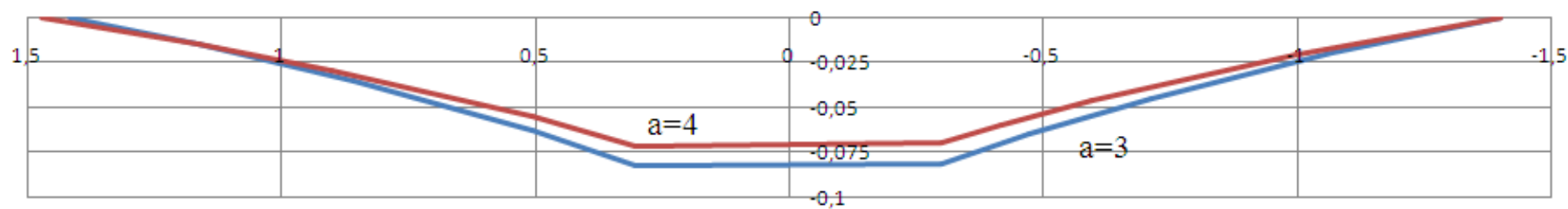
Նկ.1 $\beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = i_p = 0,01$



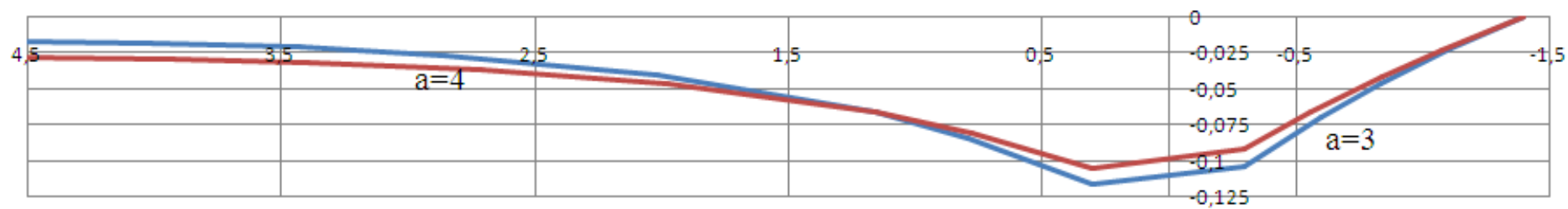
Նկ.2 $\beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = i_p = 0,03$



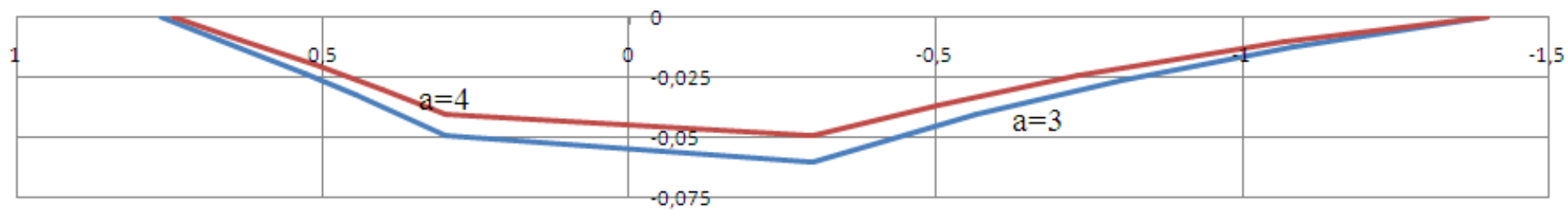
У.3 $\beta_0 = 8; Fr_0 = 2; i_0 = i_p = 0,03$



У.4 $\beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = i_p = 0,01$



У.5 $\beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,01; i_p = 0,03$



У.6 $\beta_0 = 12; Fr_0 = 5; i_0 = 0,03; i_p = 0,01$