

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА
ИМ. МИРЗО УЛУГБЕКА**

5440600 – НАПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО КУРСУ
ОБЩАЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ ГИДРАВЛИКА

Составители: д.г.н., проф. Трофимов Г.Н.
преп. Трофимова Ю.Г.

Ташкент – 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Учебный план.....	4
2. Рабочий программа	15
3. Календарный план.....	19
4. Критерии оценки	22
5. Педагогические технологии	25
6. Лекции.....	27
7. Практические работы.....	98
8. Тестовые задания.....	112
9. Контрольные вопросы.....	119
10. Темы курсовых работ.....	126
11. Темы выпускных квалификационных работ.....	127
12. Вопросы для самостоятельного образования	128
13. Глоссарий.....	129
14. Слайды.....	131
15. Литература.....	136

ВВЕДЕНИЕ

Гидравлика - отрасль механики: изучающая законы равновесия и движения жидкостей и использования этих законов в инженерной практике. Различают *гидростатику* (законы равновесия покоящейся жидкости) и *гидродинамику* (законы движения жидкости).

В своих исследованиях гидравлика использует законы физики и теоретической механики, а также широко использует математический аппарат. Из-за сложности явлений движения жидкости и необходимости использования законов гидравлики в инженерной практике в гидравлике широко используют эксперименты и эмпирические закономерности.

Законы гидравлики используются в гидрометрии, гидрологии, гидротехнике, динамике русловых потоков, гидрогеологии и др. дисциплинах.

Курс включает лекционные и практические занятия (гидравлические расчеты), а также лабораторные работы. Кроме того, предусматривается большой объем самостоятельных работ по расчетам гидравлических систем. Ниже приведены основные темы занятий и распределение их по часам в процессе обучения.

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

Руйхатга олинди

№ _____

2011 йил “ ____ ” ____

Ўзбекистон Республикаси
Олий ва ўрта махсус таълим
вазирлигининг 2011 йил “ ____ ”
_____даги “ ____ ”-сонли
буйруғи билан тасдиқланган

УМУМИЙ ВА МАХСУС ГИДРАВЛИКА

фанининг

ЎҚУВ ДАСТУРИ

Билим соҳаси:	400000 – Фан
Таълим соҳаси:	440000 – Табиий фанлар
Таълим йўналиши:	5440600 – Гидрометеорология

Тошкент-2011

Фаннинг ўқув дастури Олий ва ўрта махсус, касб-хунар таълими ўқув-услугий бирлашмалари фаолиятини Мувофиқлаштирувчи Кенгашнинг 2011 йил “___” _____даги “___” - сон мажлис баёни билан маъқулланган.

Фаннинг ўқув дастури Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университетида ишлаб чиқилди.

Тузувчилар:

Ҳикматов Ф.Ҳ. – “Қуруқлик гидрологияси” кафедраси мудири,
профессор, г.ф.д.

Трофимов Г.Н. – “Қуруқлик гидрологияси” кафедраси профессори, г.ф.д.

Такризчилар:

Махмудов Э.Ж. – Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Сув муаммолари институти директори, т.ф.д., профессор.

Исанов Ш.А. – Ўзбекистон Миллий университети “Назарий ва тадбиқий механика” кафедраси доценти, ф.-м.ф.н.

Фаннинг ўқув дастури Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети Илмий - услубий кенгашида тавсия қилинган (2010 йил 27 июндаги 9-сонли баённома).

Кириш

Олий таълим тизимида амалга оширилаётган ислохатларга мувофиқ ҳолда жаҳон андозаларига жавоб берадиган юқори малакали гидрометеоролог - мутахассисларни тайёрлаш бугунги кунда муҳим аҳамият касб этади. “Умумий ва махсус гидравлика” фани гидрометеорология таълим йўналиши ўқув режасига киритилган умумкасбий фанлардан бири ҳисобланади. Ушбу фан гидростатика, очиқ ўзанларда сувнинг текис ҳаракати, гидравлик сакраш, очиқ ўзанларда сувнинг нотекис ҳаракати ва ташламаларни ҳамда суюқликларнинг, энг аввало сувнинг ҳаракати ва мувозанат шарти қонунларини ўрганади.

Ўқув фанининг мақсади ва вазифалари

Фанни ўқитишдан мақсад - талабаларга суюқликларнинг тинч ва ҳаракатдаги ҳолати қонуниятларини ўргатиш ва натижада уларда дарёлар, каналлар ва сув омборларини гидравлик ҳисоблаш усулларини амалда қўллай олиш бўйича билим, кўникма ва малака шакллантиришдир.

Фаннинг вазифаси - талабаларга гидростатика, гидродинамика ва махсус гидравлика – очиқ ўзанлар гидравликаси қонунларини, гидравлик ҳисоблаш усулларини ўргатиш ва уларда шу усулларни амалда қўллай билиш бўйича малака ва тажриба ҳосил қилишдан иборат.

Фан бўйича талабаларнинг билимига, кўникма ва малакасига қўйиладиган талаблар “Умумий ва махсус гидравлика” ўқув фанини ўзлаштириш жараёнида амалга ошириладиган масалалар доирасида бакалавр:

- гидростатика ва гидродинамика қонунларини; суюқликлар ҳаракатининг таснифи ва жисмларнинг сузишини; ламинар ва турбулент режимли ҳаракатларни; Бернулли тенгламасини; суюқликларнинг йирик отверстия ва насадкалар орқали оқиши ва қувурлардаги напорли ҳаракатларни; энергия йўқотилишини ҳисобга олиш тамойили ва суюқликларнинг очиқ ўзанлардаги текис, текисмас ва ўзгарувчан ҳаракати қонунларини **билиши керак**;

- узун қувурларни гидравлик ҳисоблаш; Шези коэффициентини аниқлаш; каналларни гидравлик ҳисоблашга оид масалаларни ечиш; текисмас ҳаракатнинг дифференциал тенгламаси амалиётга тадбиқ этиш **қўникмаларига эга бўлиши керак**;

- очиқ ўзанларда суюқликларнинг текисмас ҳаракати гидравлик элементларини ҳисоблай олиш; каналлар қўндаланг қирқими гидравлик элементларини аниқлаш; гидравлик сакраш, бьефларнинг туташини турларини аниқлай олиш; сув ўлчаш ташламаларидан амалда фойдалана олиш **малакаларига эга бўлиши керак**.

Фаннинг ўқув режадаги бошқа фанлар билан ўзаро боғлиқлиги ва услубий жиҳатдан узвий кетма – кетлиги

“Умумий ва махсус гидравлика” ўқув фани умумқасбий фан ҳисобланиб, 3- ва 4 - семестрларда ўқитилади. Дастурни амалга ошириш ўқув режасидан ўрин олган математик ва табиий – илмий (олий математика, информатика ва ахборот технологиялари, физика), умумқасбий (мутахассисликка кириш, геофизика асослари ва ҳ.к.) фанларидан етарли билим ва кўникмаларга эга бўлишни талаб этади.

Фаннинг ишлаб чиқаришдаги ўрни

Бўлажак гидрометеорология бакалаврлари ўзларининг ишлаб чиқариш фаолиятида, жумладан дарёлар, каналлар ва сув омборларида дала – кузатув ҳамда сув ўлчаш ишларини ташкил этишларида, улардан халқ хўжалигининг турли соҳаларида самарали фойдаланишда гидравлика қонунлари ва ҳисоблаш усулларига таянадилар. Шу жиҳатдан “Умумий ва махсус гидравлика” ўқув фани юқори малакали гидрометеорологлар тайёрлаш тизимининг ажралмас бўғини ҳисобланади.

Фанни ўқитишда замонавий ахборот ва педагогик технологиялар

Талабаларнинг “Умумий ва махсус гидравлика” ўқув фанини ўзлаштиришлари учун ўқитишнинг илғор ва замонавий усулларида фойдаланиш, бу жараёнда янги инфорацион – педагогик технологияларни тадбиқ қилиш муҳим аҳамиятга эгадир. Фанни ўзлаштиришда дарслик, ўқув ва услубий қўлланмалар, маъруза матнлари, таркатма материаллар, электрон материаллар ва кўрғазмали қуроллардан фойдаланилади. Маъруза ва амалий машғулот дарсларида мавзуга мос равишдаги илғор педагогик технологиялар қўлланилади.

Асосий қисм

Фаннинг назарий машғулотлари мазмуни

Гидравлика фани, предмети, тадқиқот объекти. Фаннинг мақсади ва вазибалари, қисқача ривожланиш тарихи. Суюқликлар ва уларнинг физик хусусиятлари. Гидравлик катталиклар ва уларни турли ўлчам бирликлари тизимларида ифодалаш.

Гидростатика

Гидростатик босимнинг асосий хусусиятлари. Гидростатиканинг асосий тенгламаси. Тенг босимли юзалар. Пьезометрик баландлик. Вакуум. Текис юзали деворга бўладиган босимни аналитик ва графоаналитик усуллар билан аниқлаш. Босим маркази. Эгри сиртларга бўладиган босим. Гидростатик босимни ўлчаш усуллари ва ускуналари.

Жисмларнинг сузиши

Суюқликка туширилган жисмнинг уч ҳолати. Архимед қонуни. Сузиш ва сузаётган жисмнинг мувозанат шарти. Турғунлик ва метамарказ.

Гидродинамика

Суюқликлар ҳаракати, турлари. Суюқликлар ҳаракати элементлари. Траектория, оқим, сув сарфи, гидравлик радиус, нишаблик. Ўртача тезлик. Суюқликлар ҳаракатининг таснифи. Напорли ва напорсиз, ўзгармас ва ўзгарувчан, текис ва текисмас ҳаракатлар. Гидравлик қаршиликлар ва ғадир-будирлик тўғрисида тушунча.

Ламинар ва турбулент тартибли ҳаракатлар. Суюқликнинг чегара қатлами тушунчаси. Критик (чегара) тезлик. Рейнольдс тажрибалари. Тезлик пульсацияси, ўртача тезлик. Тезликнинг ламинар ва турбулент оқимларда тақсимланиши. Ламинар ҳаракатни ҳисоблаш ифодалари.

Бернулли тенгламаси

Идеал ва реал суюқликлар. Тезликнинг нотекис тақсимланиш коэффициенти. Бернулли тенгламаси. Бернулли тенгламасининг геометрик ва энергетик маъноси, ўлчам бирлиги. Пьезометрик ва гидравлик нишабликлар. Энергия йўқотилишини ҳисобга олиш. Бернулли тенгламасини секин ўзгарувчан ҳаракатдаги суюқликлар учун қўллаш мумкинлиги ҳақида. Найсимон оқимларнинг эгрилигини ҳисобга олиш.

Суюқликларнинг отверстия ва насадкалар орқали оқиши

Юпқа девордаги кичик отверстиядан оқиш. Қаршилик, тезлик, кичрайиш ва сув сарфи коэффициентлари. Йирик отверстиялардан оқиш. Сув омборлари ва идишларнинг сувдан бўшаш вақтини ҳисоблаш. Насадкалар, уларнинг типлари, амалда қўлланиши.

Напорли ҳаракат

Сууюкликларнинг қувурлардаги напорли ҳаракати. Қувур узунлиги бўйича йўқотилган напорни ҳисоблаш. Маҳаллий қаршилиқлар. Энергия йўқотилишини ҳисобга олиш принципи. Қувурлар тизимининг қаршилиқ коэффициенти. Напорли қувурларни ҳисоблаш. Қисқа ва узун сув узатиш тармоқлари ҳақида тушунча. Сифон ва дюкерларни ҳисоблаш.

Текис ҳаракат

Сууюкликларнинг очиқ ўзанлардаги текис ҳаракати. Текис ҳаракатнинг асосий тенгламаси. Шези, Дарси-Вейсбах ифодаларини келтириб чиқариш. Текис ҳаракат тенгламасининг амалий масалаларга тадбиқи. Шези коэффициентини ҳисоблашнинг Маннинг, Базен, Павловский, Агроскин ва бошқаларнинг эмпирик формулалари. Ғадир-будирлик коэффициенти, уни аниқлаш усуллари. Оқимнинг тезлик ва сув сарфи характеристикалари. Қаршилиқларнинг ғадир-будирликка ва гидравлик радиусга боғлиқлиги.

Каналларни гидравлик ҳисоблаш

Каналларни гидравлик ҳисоблашга оид масалаларнинг турлари. Каналлар кўндаланг қирқимининг гидравлик элементлари. Каналларнинг гидравлик энг қулай кўндаланг қирқими. Трапеция шаклидаги кўндаланг қирқимли каналларни ҳисоблаш. Табиий ўзанлар учун гидравлик ҳисоблашлар.

Нотекис ҳаракат

Босимсиз ҳаракатда қирқимнинг бирлик энергияси. Критик чуқурлик, тезлик ва нишаблик. Қирқимнинг бирлик энергияси графиги. Сокин ва шиддатли ҳаракат. Фруд сони. Очиқ ўзанларда сууюкликларнинг нотекис ҳаракати тушунчаси. Нотекис ҳаракатдаги ўзанларнинг эркин юзалари шакли. Амалдаги нотекис ҳаракат. Нотекис ҳаракатнинг дифференциал тенгламаси. Тенгламани таҳлил қилиш. Тенгламани интеграллаш. Павловский, Бахметев усуллари.

Гидравлик сакраш

Гидравлик сакраш ва бьефларнинг туташishi. Гидравлик сакраш, унинг юзага келиш шарт-шароитлари. Гидравлик сакраш элементлари. Гидравлик сакрашнинг асосий тенгламаси. Ўзаро боғлиқ чуқурликлар. Бьефлар туташшининг турлари. Кўмилган гидравлик сакраш. Қуйи бьефда энергияни сўндириш усуллари. Оқимга қарши тўсиқларни ҳисоблаш.

Ташламалар

Ташламаларнинг таърифи, таснифи. Оқим траекторияси ва шакллари. Юпка деворли ташламалар. Ҳисоблаш ифодалари. Ташламанинг сувга кўмилиш шарти. Ён томондан сиқилиш ва оқиб келиш тезлигини ҳисобга олиш. Девор қиялигининг ташлама сув сарфи коэффициентига таъсири. Ташламаларни гидрометрия амалиётида қўллаш. Амалий профилли ташламалар. Кўмилиш шарти. Туйнуклар, кўприклар ва напорсиз қувурлар учун ҳисоблашлар. Сув ўлчаш ташламалари ва новлари.

Дарёларда сувнинг нотекис ҳаракати

Табиий ўзанлар юзаси эгри чизиғини чизиш. Дарёни қисмларга ажратиш. Қаршилиқ модулининг инвариантлиги. Эркин юзалар эгри чизиғини чизишнинг Павловский, Рахманинов, Вернадский ва бошқалар таклиф этган усуллари. Димланиш эгри чизиғини чизиш.

Ўзгарувчан ҳаракат

Ўзгарувчан сарфли оқим ҳаракати, унинг тенгламаси. Шу турдаги ҳаракатга мисоллар. Ўзгарувчан ҳаракат. Очик ўзанлардаги ҳаракатнинг асосий тенгламаси. Сен-Венан тенгламаси, уни ечиш усуллари.

Амалий машғулотларни ташкил этиш бўйича

кўрсатма ва тавсиялар

Ҳар бир амалий машғулот, дастлаб ишнинг мақсадини ва мавзуга оид назарий билимларни қисқача ёритишдан бошланади. Сўнг ишни бажариш учун зарур бўлган маълумотлар ва қўйилган мақсадни амалга ошириш учун талаб қилинган вазифалар аниқ белгиланиб, ишни бажариш тартиби эса қўйилган вазифалар кетма-кетлигига асосланади. Барча ишлар олинган натижаларнинг таҳлили билан яқунланади. Ҳар бир амалий машғулотни бажариш учун берилган маълумотларга таяниб, талабаларга алоҳида вариантлар таклиф этилади.

Амалий машғулотларнинг тахминий тавсия этиладиган мавзулари:

1. Суюқликларнинг асосий физик хусусиятлари ва уларни ҳисоблашга оид масалалар.
2. Гидростатик босим. Босим кучи ва уни ҳисоблаш.
3. Узун қувурлар учун гидравлик ҳисоблашлар.
4. Қисқа қувурлар учун гидравлик ҳисоблашлар.
5. Бернулли диаграммасини тузиш.
6. Каналлар учун гидравлик ҳисоблашлар.
7. Кўндаланг қирқимнинг солиштирма энергияси.
8. Гидравлик сакраш, сакраш функцияси графигини чизиш.

9. Текисмас ҳаракат тенгламасини интеграллаш: димланиш эгри чизиғи графигини чизиш.

10. Суюқликларнинг отверстия ва насадкалардан оқиши.

11. Сув омборларининг сувдан бўшаш вақтини ҳисоблаш

12. Ташлама (водослив)лар учун гидравлик ҳисоблашлар.

Амалий машғулотларни ташкил этиш бўйича кафедра профессор-ўқитувчилари томонидан услубий кўрсатма ва тавсиялар ишлаб чиқилади. Унда талабалар асосий маъруза мавзулари бўйича олган билим ва кўникмаларни амалий масалалар ечиш орқали янада бойтадилар. Шунингдек, дарслик ва ўқув қўлланмалар асосида талабалар билимларини мустақамлашга эришиш, тарқатма материаллардан фойдаланиш, масалалар ечиш, мавзулар бўйича кўргазмали куруллар тайёрлаш ва бошқалар тавсия этилади.

Мустақил ишни ташкил этишнинг

шакли ва мазмуни

Мустақил ишни тайёрлашда “Умумий ва махсус гидравлика” фанининг хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда талабага қуйидаги шакллардан фойдаланиш тавсия этилади:

- дарслик ва ўқув қўлланмалар бўйича фан боблари ва мавзуларини ўрганиш;
- тарқатма материаллардан фойдаланган ҳолда фаннинг маърузалар қисмини ўзлаштириш;
- автоматлаштирилган ўргатувчи ва назорат қилувчи тизимлар билан ишлаш;
- махсус адабиётлардан фойдаланган ҳолда, фан бўлимлари ёки мавзулари устида ишлаш;
- янги гидравлик техникаларни, аппаратураларни, жараёнлар ва технологияларни ўрганиш;
- фаннинг талабанинг ўқув-илмий-тадқиқот ишларини бажариш билан боғлиқ бўлган бўлимларини ва мавзуларини чуқур ўрганиш;
- масофавий (дистанцион) таълимдан фойдаланиш ва ҳ.к.

Мустақил иш учун қуйидаги мавзуларни чуқур ўрганиш тавсия этилади:

1. Суюқликларнинг асосий физик хусусиятлари;
2. Гидростатиканинг асосий қонунлари;
3. Тўғонлар деворига бўладиган гидростатик босимни ҳисоблаш;
4. Рейнольдс тажрибаси ва Рейнольдс сонининг қийматини аниқлаш;
5. Маҳаллий қаршилиқларни аниқлаш;
6. Узунлик бўйича қаршилиқларни аниқлаш;

7. Бернулли тажрибасини ўтказиш ва Бернулли диаграммасини чизиш;
8. Димланиш эгри чизиғи ва уни амалиётда қўллаш;
9. Сув омборларининг сувдан бўшаш вақтини ҳисоблаш;
10. Сув ўлчаш ташламалари ва улардан амалиётда фойдаланиш

Дастурнинг информацион-услубий таъминоти

Мазкур фанни ўқитиш жараёнида таълимнинг замонавий усуллари, янги педагогик ва ахборот – коммуникация технологиялари қўлланилиши назарда тутилган. Дастурдаги барча маъруза мавзуларини ўтишда таълимнинг замонавий усулларида кенг фойдаланиш, ўқув жараёнини янги педагогик технологиялар асосида ташкил этиш самарали натижа беради. Бу борада замонавий педагогик технологиянинг “Бумеранг”, “Ёлпиғич”, “Ақлий хужум”, “Масофавий таълим”, “Занжир”, “Кластер” ҳамда “Муаммоли таълим” технологиясининг “Мунозарали дарс” каби усуллари қўллаш ўринлидир. Шунингдек, амалий машғулотлар жараёнида фанга тегишли бўлган махсус қурилмалар, жадваллар, чизмалар ва слайдлардан фойдаланиш назарда тутилади.

Фойдаланиладиган асосий дарсликлар ва ўқув қўлланмалар рўйхати

Асосий дарсликлар ва ўқув қўлланмалар

1. Спицын И.П., Соколова З.А. Общая и речная гидравлика. -Л.: Гидрометеиздат, 1990.
2. Умаров А.Ю. Гидравлика. -Тошкент: Ўзбекистон, 2002.
3. Чугаев Р.Р. Гидравлика -Л.: Энергия, 1975.
4. Штеренлихт В.Д. Гидравлика -М.: Наука, 1991.
5. Ҳикматов Ф.Ҳ. Гидравликадан амалий машғулотлар. –Тошкент: Университет, 1993.

Қўшимча адабиётлар

6. Андриевская А.В. Задачник по гидравлике.-М.: Энергия, 1977.
7. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. -М.: Энергия, 1974.
8. Примеры гидравлических расчетов. -М.: Транспорт, 1977.
9. Трофимов Г.Н. Гидравлика. Част I,II // Конспект лекций. –Тошкент., Университет, 2001.
10. Филиппов Е.Г. Гидравлика гидрометрических сооружений для открытых потоков. –Л.: Гидрометеиздат, 1990.
11. Чертоусов М.Д. Гидравлика (спец. курс). -М.: Гос-издат, 1962.

12. www.undp.uz (Бирлашган Миллатлар Ташкилотининг Тараққиёт Дастури Веб-сайти).
13. www.gwpcacena.org
14. www.Ziyo.net

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА
ИМ. МИРЗО УЛУГБЕКА

Географический факультет
Кафедра «Гидрологии суши»

Рабочая программа
по курсу:
ОБЩАЯ И СПЕЦИАЛЬНАЯ ГИДРАВЛИКА

Ташкент - 2011

“Утверждаю”
декан географического факультета

доц. Махамдалиев Р.Й.
“29” августа 2011 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по курсу «Общая и специальная гидравлика» для студентов II-ого курса
направления «Гидрометеорология»

Лекции – 50 ч
Практические занятия – 76 ч
Рейтинг – 8 ч
Совет – 2 ч
Всего – 136 ч

Содержание курса

1 лекция – Введение. Определение предмета гидравлики, история развития, связь с другими науками (гидрометрией, динамикой потоков, гидротехническими сооружениями). Основные разделы гидравлики (1-гидростатика, 2-общая гидродинамика, 3-истечение через отверстие и насадки, 4-напорное движение в трубопроводах, 5-равномерное движение в открытом русле, 6-неравномерное движение, 7-гидравлический прыжок, 8-водосливы) (2 ч).

2 лекция – Основные физические свойства жидкостей (объемный вес, плотность, вязкость, сжимаемость). Силы внутри покоящейся жидкости. Понятие идеальной жидкости (2 ч).

3 лекция – Гидростатические давление, его свойства, основное уравнение гидростатики (2 ч).

4 лекция – Давление жидкости на плоские стенки. Аналитический и графо-аналитический способы расчета силы давления. Центр давления (2 ч).

5 лекция – Давление жидкости на криволинейные поверхности. Горизонтальная и вертикальная составляющие силы давления, объем тела давления. Результирующая силы давления (2 ч).

6 лекция – Плавание тел. Закон Архимеда. Условия плавания. Понятие о водоизмещении, осадке, и остойчивости плавающих тел (2 ч).

7 лекция – Общая гидродинамика. Элементы движущейся жидкости (траектория, линия тока, элементарная струйка, поток). Типы движения жидкости (установившееся и не установившееся, равномерное и не равномерное, напорное и безнапорное) (2 ч).

8 лекция – Понятие о шероховатости и гидравлических сопротивлениях. Местные сопротивления и по длине потока. Два режима движения жидкости (ламинарный и турбулентный). Опыты Рейнольдса (2 ч).

9 лекция – Уравнение Бернулли. Интерпретация уравнения Бернулли (энергетическая, геометрическая, гидравлическая). Уравнение для идеальной и реальной жидкостей (2 ч).

10 лекция – Истечение жидкости через отверстие и насадки. Понятие коэффициента сжатия, скорости и расхода. Типы насадок. Истечение при переменном напоре (2 ч).

11 лекция – Движение жидкости в трубопроводах. Потери напора в трубах (местные и по длине) (2 ч).

12 лекция – Равномерное движение в открытых руслах. Формула Шези. Скоростной коэффициент Шези. Формулы для расчета коэффициента Шези (Маннинга, Павловского, Базена, Агроскина и др.) (2 ч).

13 лекция – Гидравлический расчет каналов, наиболее выгодные форма и размеры сечения канала. Расчет естественных русел (2 ч).

14 лекция – Неравномерное движение. Понятие удельной энергии сечения. Критическая глубина, скорость, уклон. Спокойное и бурное течение. Формула Фруда (2 ч).

15 лекция – Формы свободной поверхности потока при неравномерном движении. Типы кривых свободной поверхности (2 ч).

16 лекция – Основное дифференциальное уравнение неравномерного движения. Призматические и не призматические русла. Исследование основного уравнения неравномерного движения (2 ч).

17 лекция – Интегрирование основного уравнения неравномерного движения (методы Павловского, Бахметьева и др.) (2 ч).

18 лекция – Гидравлический прыжок и сопряжение бьефов. Условия возникновения гидравлического прыжка. Основное уравнение прыжка прыжковая функция. Взаимные глубины. Потери энергии в прыжке (2 ч).

19 лекция – Типы сопряжения бьефов. Расчет сопряженных глубин и длины прыжка. Гашение энергии в прыжке (водобойные колодцы, водобойные стенки) (2 ч).

20 лекция – Водосливы. Типы водосливов. Форма струи через водослив (2 ч).

21 лекция – Водослив с тонкой стенкой. Основная формула водослива. Водосливы с прямоугольным, треугольным, трапецеидальным вырезами и др. (2 ч).

22 лекция – Условия затопления водослива. Коэффициента сжатия струи, расхода, коэффициент водослива (2 ч).

23 лекция – Водосливы практического профиля. Безвакуумные и вакуумные водосливы. Учет сжатия струи и скорости подхода (2 ч).

24 лекция – Водослив с широким порогом, его свойства. Затопление водослива с широким порогом (2 ч).

25 лекция – Расчет отверстий плотин, мостов и безнапорных труб. Гидрометрические лотки (2 ч).

Практические работы.

1. Задачи по расчету основных физических свойств жидкостей (8 ч).
2. Расчет суммарного давления (8 ч).
3. Построение диаграммы Бернулли (10 ч).
4. Истечение жидкоти через отверстия (10 ч)
5. Гидравлический расчет каналов (10 ч).
6. Расчет трубопроводов
7. Расчет удельной энергии сечения (10 ч).
8. Построение кривой подпора (10 ч).
9. Расчет водосливов (10 ч).

Основная литература

1. Каримов И.А. Мировой экономический кризис и пути его решения в Узбекистане. – Ташкент, Узбекистан, 2008.
2. Каримов И.А. Высокая духовность – нестигаемая сила. – Ташкент, Узбекистан, 2009.
3. Каримов И.А. Узбекистан на пороге 21 века. - Ташкент, Узбекистан, 2008.
4. Спицын И.П., Соколова З.А. Общая и речная гидравлика. -Л.: Гидрометеиздат, 1990.

“Утверждаю”
декан географического факультета

доц. Махамдалиев Р.Й.
“29” август 2011 г.

Календарный план
(рейтинг-карта)
Факультет – географический, курс – 2, группа – русская
Наименование дисциплины – Общая и специальная гидравлика

Лекции - 50 ч.
Практические занятия – 76 ч.
Рейтинг – 8 ч.
Совет – 2 ч.
Всего – 136 ч.

Время	Вид занятий	Часы	ТЕМЫ	План рейтинга		
				ТК	ПК	ИК
Лекции						
IX	1-Л	2	Введение.			
IX	2-Л	2	Основные физические свойства жидкостей			
IX	3-Л	2	Гидростатические давления, его свойства, основное уравнение гидростатики			
IX	4-Л	2	Давление жидкости на плоские стенки			
IX	5-Л		Давление жидкости на криволинейные поверхности			
IX	6-Л	2	Плавание тел. Закон Архимеда			
X	7-Л	2	Общая гидродинамика			
X	8-Л	2	Понятие о шероховатости и гидравлических сопротивлениях			
X	9-Л	2	Уравнение Бернулли			
X	10-Л	2	Истечение жидкости через отверстие и насадки			
X	11-Л	2	Движение жидкости в трубопроводах			
XI	12-Л	2	Равномерное движение в открытых руслах. Формула Шези.			
XI	13-Л	2	Гидравлический расчет каналов, наиболее выгодные форма и размеры сечения канала		10	

XI	14-Л	2	Неравномерное движение			
XI	15-Л	2	Формы свободной поверхности потока при неравномерном движении			
XI	16-Л	2	Основное дифференциальное уравнение неравномерного движения			
XI	17-Л	2	Интегрирование основного уравнения неравномерного движения			
XII	18-Л	2	Гидравлический прыжок и сопряжение бьефов			
XII	19-Л	2	Типы сопряжения бьефов			
XII	20-Л	2	Водосливы			
XII	21-Л	2	Водослив с тонкой стенкой			
XII	22-Л	2	Условия затопления водослива			
XII	23-Л	2	Водосливы практического профиля			
I	24-Л	2	Водослив с широким порогом, его свойства			
I	25-Л	2	Расчет отверстий плотин, мостов и безнапорных труб		15	30
Практические работы						
IX	ПР	8	Задачи по расчету основных физических свойств жидкостей	5		
IX	ПР	8	Расчет суммарного давления	5		
X	ПР	10	Построение диаграммы Бернулли	5		
X	ПР	10	Истечение жидкости через отверстия	5		
XI	ПР	10	Расчет трубопроводов	5		
XI	ПР	10	Гидравлический расчет каналов	5		
XII	ПР	10	Расчет удельной энергии сечения	5		
XII	ПР	10	Построение кривой подпора	5		
I	ПР	10	Расчет водосливов	5		
			Давомат	5		
			Жами	45	25	30

Составители:

проф. Трофимов Г.Н.
преп. Трофимова Ю.Г.

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры Гидрологии Суши 26 августа 2011 года и сдана для утверждения в МК факультета.

Заведующий кафедрой

проф. Хикматов Ф.Х.

“Утверждаю”
декан географического факультета

доц. Махамдалиев Р.Й.
“29” август 2011 г.

Календарный план
(рейтинг-карта)
Факультет – географический, курс – 2, группа – русская
Наименование дисциплины – Общая и специальная гидравлика

Лекции - 50 ч.
Практические занятия – 76 ч.
Рейтинг – 8 ч.
Совет – 2 ч.
Всего – 136 ч.

Время	Вид занятий	Часы	ТЕМЫ	План рейтинга		
				ТК	ПК	ИК
Лекции						
IX	1-Л	2	Введение.			
IX	2-Л	2	Основные физические свойства жидкостей			
IX	3-Л	2	Гидростатические давления, его свойства, основное уравнение гидростатики			
IX	4-Л	2	Давление жидкости на плоские стенки			
IX	5-Л		Давление жидкости на криволинейные поверхности			
IX	6-Л	2	Плавание тел. Закон Архимеда			
X	7-Л	2	Общая гидродинамика			
X	8-Л	2	Понятие о шероховатости и гидравлических сопротивлениях			
X	9-Л	2	Уравнение Бернулли			
X	10-Л	2	Истечение жидкости через отверстие и насадки			
X	11-Л	2	Движение жидкости в трубопроводах			
XI	12-Л	2	Равномерное движение в открытых руслах. Формула Шези.			
XI	13-Л	2	Гидравлический расчет каналов, наиболее выгодные форма и размеры сечения канала		10	

XI	14-Л	2	Неравномерное движение			
XI	15-Л	2	Формы свободной поверхности потока при неравномерном движении			
XI	16-Л	2	Основное дифференциальное уравнение неравномерного движения			
XI	17-Л	2	Интегрирование основного уравнения неравномерного движения			
XII	18-Л	2	Гидравлический прыжок и сопряжение бьефов			
XII	19-Л	2	Типы сопряжения бьефов			
XII	20-Л	2	Водосливы			
XII	21-Л	2	Водослив с тонкой стенкой			
XII	22-Л	2	Условия затопления водослива			
XII	23-Л	2	Водосливы практического профиля			
I	24-Л	2	Водослив с широким порогом, его свойства			
I	25-Л	2	Расчет отверстий плотин, мостов и безнапорных труб		15	30
Практические работы						
IX	ПР	8	Задачи по расчету основных физических свойств жидкостей	5		
IX	ПР	8	Расчет суммарного давления	5		
X	ПР	10	Построение диаграммы Бернулли	5		
X	ПР	10	Истечение жидкости через отверстия	5		
XI	ПР	10	Расчет трубопроводов	5		
XI	ПР	10	Гидравлический расчет каналов	5		
XII	ПР	10	Расчет удельной энергии сечения	5		
XII	ПР	10	Построение кривой подпора	5		
I	ПР	10	Расчет водосливов	5		
			Давомат	5		
			Жами	45	25	30

Составители:

проф. Трофимов Г.Н.

преп. Трофимова Ю.Г.

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры Гидрологии Суши 26 августа 2011 года и сдана для утверждения в МК факультета.

Заведующий кафедрой

проф. Хикматов Ф.Х.

ТАЪЛИМ ТЕХНОЛОГИЯСИ

Маълумки, таълим технологияси - “техник ва инсон ресурсларини ҳамда уларнинг ўз олдига таълим шаклларини оптималлаштириш вазифасини қўйувчи ҳамкорлигини ҳисобга олган ҳолда дарс бериш ва билимларни ўзлаштиришнинг барча жараёнларини яратиш, қўллаш ва белгилашнинг тизимли усули” ҳисобланади (ЮНЕСКО).

Тизимли туркум (категория) каби таълим технологияси қуйидагиларни ифодалайди:

- педагогик тизимнинг таркибий қисмларини (компонентларини);
- таълим технологиясининг таркибий қисмларини (элементларини), унинг процессуал қисмини;
- таълим методикасининг кейинги даражасини – мақсадга эришиш учун услубий (методик) тизимни ўқув жараёни қатнашчиларининг ҳаракат изчиллигига айлантиради.

Мутахассисликка кириш курсини самарали ўқитиш мақсадида қуйидаги технологиялардан фойдаланиш кўзда тутилган:

- муаммоли ўқитиш;
- танқидий фикрлашни ривожлантирувчи технологиялар;
- ривожлантирувчи таълим технологиялари;
- ўйинли технологиялар;
- ҳамкорлик технологиялари;
- ўқитишнинг табақалаштирилган ва индивидуал технологияси;
- программалаштирилган ўқитиш технологияси;
- компьютер- ахборот технологиялари.

Фанни ўқитишда интерфаол усулларни қўллаш самарали натижа беради. Чунки, интерфаол усуллар талабаларда мантиқий, ижодий, танқидий, мустақил фикрлашни шакллантиришга, қобилиятларини ривожлантиришга, етук мутахассис бўлишларига ҳамда мутахассисга керакли бўлган касбий фазилатларни тарбиялашга ёрдам беради.

Қуйида курсни ўқитиш жараёнида қўллаш мумкин бўлган баъзи бир технологияларга тавсиф берамиз.

“ТАРМОҚЛАР” методи – талабани мантиқий фикрлаш, умумий фикр доирасини кенгайтириш, мустақил равишда адабиётлардан фойдаланишни ўргатишга қаратилган.

“БУМЕРАНГ” техникаси – талабаларни дарс жараёнида, дарсдан ташқарида турли адабиётлар, матнлар билан ишлаш, ўрганилган материалларни ёдда сақлаб қолиш, сўзлаб бера олиш, фикрни эркин ҳолда баён эта олиш ҳамда бир дарс давомида барча ўқувчи талабаларни баҳолай олишга қаратилган.

“МУЛОҚОТ” техникаси –аудиториядаги талабалар диққатини ўзига жалб этиш, дарс жараёғида ҳамкорликда фаолият кўрсатишга, уни ташкил этишни ўргатишга қаратилган.

“ТАРМОҚЛАР МЕТОДИ” (Кластер) - фикрларнинг тармоқланиши – бу педагогик стратегия бўлиб, у талабаларни бирон бир мавзунини чуқур ўрганишларига ёрдам бериб, уларни мавзуга тааллуқли тушунча ва аниқ фикрни эркин ва очиқ равишда кетма-кетлик билан узвий боғлаган ҳолда тармоқлашга ўргатади. Бу метод бирон мавзунини чуқур ўрганишдан аввал талабаларнинг фикрлаш фаолиятини жадваллаштириш ҳамда кенгайтиришга эришиш мумкин.

“БУМЕРАНГ” технологияси - мазкур технология бир машғулот давомида ўқув материалнинг чуқур ва яхлит ҳолатда ўрганиш, ижодий тушуниб этиш, эркин эгаллашга йўналтирилган. У турли мазмун ва характерга (муомала, мунозарали, турли мазмунли) эга бўлган мавзуларни ўрганишга яроқли бўлиб, ўз ичига оғзаки ва ёзма иш шакллари қамраб олади ҳамда бир машғулот давомида ҳар бир иштирокчининг турли топшириқларни бажариши, навбат билан ўқувчи ёки ўқитувчи ролида бўлиши, керакли баллини тўплашига имконият беради. “Бумеранг” технологияси танқидий фикрлаш, мантиқий шаклланишга имконият яратади; хотирани чархлайди, диққатни кучайтиради. Ҳождларни, фикрларни, далилларни ёзма ва оғзаки шаклларда баён қилиш кўникмаларини ривожлантиради. Мазкур метод тарбиявий характердаги қатор вазифаларни амалга ошириш имконини беради: жамоа билан ишлаш маҳорати; муомалалилик; хушфезллик; қониқувчанлик; ўзгалар фикрига ҳурмат; фаоллик; раҳбарлик сифатларини шакллантириш; ишга ижодий ёндашиш; ўз фаолиятининг самарали бўлишига қизиқиш; ўзини ҳолис баҳолаш.

“СКАРАБЕЙ” технологияси - “Скарабей” интерактив технология бўлиб, у талабаларда фикрий боғлиқлик, мантиқий хотиранинг ривожланишига имконият яратади, қандайдир муаммони ҳал қилишда ўз фикрини очиқ ва эркин ифодалаш маҳоратини шакллантиради. Мазкур технология талабаларга мустақил равишда билимнинг сифати ва савиясини ҳолис баҳолаш, ўрганилаётган мавзу ҳақидаги тушунча ва тасаввурларни аниқлаш имконини беради. У айна пайтда, турли Ҳождларни ифодалаш ҳамда улар орасидаги боғлиқликларни аниқлашга имкон яратади. Мазкур технологиядан ўқув материалнинг турли босқичларини ўрганишда фойдаланиш имконияти мавжуд.

“БЕЕР” технологияси - мураккаб, кўптармоқли, мумкин қадар, муаммо характердаги мавзуларни ўрганишга қаратилган. Технологиянинг моҳияти шундан иборатки, бунда мавзунинг турли тармоқлари бўйича бир йўла ахборот берилади. Айна пайтда, уларнинг ҳар бири алоҳида нуқталардан муҳокама этилади. Масалан, ижобий ва салбий томонлари, афзаллик, фазилат ва камчиликлари, фойда ва зарарлари белгиланади.

Бу интерактив технология гидрологик прогнозлар курсида танқидий, таҳлилий, аниқ мантиқий фикрлашни муваффақиятли ривожлантиришга ҳамда ўз ғоялари, фикрларини ёзма ва оғзаки шаклда ихчам баён этиш, ҳимоя қилишга имконият яратади.

ЛЕКЦИИ

1 - тема. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГИДРАВЛИКИ

Освещены основные этапы развития гидравлики. Приведены примеры использования знаний по гидравлике при строительстве гидротехнических сооружений в античное время и в средние века. Отмечены заслуги ученых-гидравликов XIX - XX веков.

Вода всегда играла исключительную роль в жизни человека. В глубокой древности человек использовал реки и озера как пути сообщения.

Много тысяч лет назад в Средней Азии, Китае, Египте, Ассирии, Вавилоне, Риме и Греции были построены довольно крупные гидротехнические сооружения. Человек строил корабли и знал условия их равновесного плавания. Известны остатки таких сооружений как “свайный римский мост” через р.Тибр (VII в до н.э.), развалины инженерных сооружений в Туркменистане (Аннау), остатки древних каналов, акведуков и плотин.

Шахрудская оросительная система, построенная в Средней Азии более тысячи лет назад действует до сего времени.

- Термин “гидравлика” состоит из двух греческих слов: хюдор (υδωρ) вода и аулос (αυλοξ) - труба.

До наших дней дошло практически без изменений учение Архимеда “о плавающих телах”, написанное за 250 лет до н.э. Вслед за античными учеными следуют работы Леонардо да Винчи (1452-1519 гг.), Г.Галилея,

Б.Паскаля, И.Ньютона и др XVII-XVIII вв.) . Основой динамики жидкости является теорема Д.Бернулли об энергии движущейся жидкости. Следует отметить работы Л.Эйлера (1755 г.), Л.Навье, Дж.Стокса, А.Шези, А.Базена, О.Рейнольдса (XIX - начало XX вв). Многие задачи гидравлики решены Н.Н.Павловским, И.И.Агроскиным, М.Д.Чертоусовым, Р.Р.Чугаевым и др.

В заключении следует отметить, что ни одно гидротехническое сооружение (каналы, дюкеры, плотины и т.п.), мосты, трубопроводы и др. не могут быть построены без использования законов гидравлики.

2 - тема. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ. СИЛЫ ВНУТРИ ЖИДКОСТИ.

Дано определение понятия жидкостей. Рассмотрены основные свойства жидкостей и факторы на эти свойства влияющие. Приведены численные значения объемного веса, плотности, объемного сжатия и вязкости для воды и для ряда других жидкостей.

Жидкости - физические тела, находящиеся в промежуточном состоянии между твердыми и газообразными телами. При низких температурах жидкости имеют свойства близкие к свойствам твердых тел, при высоких температурах - к свойствам газов. От твердых тел жидкости отличаются малыми силами сцепления между отдельными частицами, от газов малой сжимаемостью. Жидкости рассматривают как сплошные среды (континуум).

Жидкостью называется физическое тело, обладающее текучестью, не имеющее своей формы и принимающее форму сосуда, в котором оно находится.

Основными физическими свойствами жидкостей являются: объемный (удельный) вес, плотность, сжимаемость и вязкость.

Объемным весом жидкости называется вес единицы ее объема

$$\gamma = G/W, \quad (1)$$

где G - вес жидкости (г, кг, т), W - объем жидкости (см³, м³). Таким образом размерность объемного веса г/см³, кг/м³, т/м³. Внешнее давление и температура вызывают малое изменение объемного веса жидкостей.

Для практических целей изменение объемного веса воды от температуры не учитывается и в обычных условиях принимают для пресной воды $\gamma=1 \text{ г/см}^3=0,001 \text{ кг/см}^3=1 \text{ кг/дм}^3=1000 \text{ кг/м}^3=1 \text{ т/м}^3$.

Плотностью жидкости называется масса ее в единице объема (ρ)

$$\rho=m/W, \quad (2)$$

где m - масса жидкости, W - объем ее.

Так как $G=m \cdot g$ (g - ускорение силы тяжести, принимаемое в расчетах $9,81 \text{ м/с}^2$), то

$$\rho=\gamma/g. \quad (3)$$

Размерность плотности - $\text{кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^4$. В табл.2 даны значения объемных весов и плотностей некоторых жидкостей.

Таблица 3

Объемный вес и плотности некоторых жидкостей

Наименование жидкости	Объемный вес, кг/м^3	Плотность, $\text{кг/с}^2/\text{м}^4$	Температура, $^{\circ}\text{C}$
Вода дистиллированная	1000	102	4
Вода морская	1020-1030	104-105	15
Молоко	1030	105	15
Ртуть	13560	1382	0
Касторовое масло	970	99	15
Керосин	790-820	80-85	15
Бензин	680-780	70-80	15
Бензол	900	92	0
Ацетон	790	80	20
Древесный спирт	800	82	0
Глицерин	1260	128	0
Нефть	760-900	77-92	20
Чугун расплавленный	7000	714	1200

Сжимаемостью жидкости называется ее способность уменьшать свой объем под влиянием внешних сил. Сжимаемость жидкостей очень мала. Величина сжимаемости характеризуется *коэффициентом объемного сжатия* (β) числом, определяющим относительное уменьшение объема жидкости при увеличении давления на 1 атмосферу (1 кг/см^2).

$$\beta=(W_1-W_2)/W_1 \cdot p, \quad (4)$$

где W_1 и W_2 - объемы жидкости до и после сжатия, p - давление. Размерность коэффициента объемного сжатия - $\text{см}^2/\text{кг}$.

Величина обратная коэффициенту объемного сжатия называется *модулем упругости* (k):

$$k=1/\beta.$$

Для пресной воды $\beta=1/21000 \text{ см}^2/\text{кг}$. В большинстве задач в гидравлике жидкости считают несжимаемыми.

Вязкостью называется свойство жидкости оказывать сопротивление перемещению одной ее части относительно другой. Вязкость жидкостей имеет большое значение и проявляется только при движении жидкостей.

Для численной характеристики вязкости введено понятие *коэффициента вязкости*. *Коэффициент вязкости* - сила внутреннего трения в движущейся жидкости, отнесенная к единице поверхности трущихся слоев и зависит от рода жидкости

$$\tau = \mu * (\Delta u / \Delta h), \quad (5)$$

Где τ - сила внутреннего трения, приходящаяся на единицу площади соприкасающихся слоев, μ - динамический коэффициент вязкости зависит от рода жидкости, $\Delta u / \Delta h$ - градиент скорости между двумя слоями жидкости. Из (5) динамический коэффициент вязкости равен

$$\mu = \tau / (\Delta u / \Delta h) \quad (6)$$

очевидно при $\Delta u / \Delta h = 1$ имеем $\mu = \tau$, т.е. коэффициент вязкости μ выражает силу внутреннего трения приходящуюся на единицу поверхности двух движущихся слоев жидкости при градиенте скорости, равном единице. Размерность $\mu = \tau$ - кг*сек/м².

В гидравлике чаще применяют не динамический коэффициент вязкости, а *кинематический коэффициент вязкости* ν , равный отношению динамического коэффициента вязкости к плотности жидкости

$$\nu = \mu / \rho. \quad (7)$$

Вязкость жидкости зависит, в основном, от рода жидкости и ее температуры. Размерность кинематического коэффициента вязкости - м²/сек, чаще см²/сек. Для воды

$$\nu = 0,0178 / (1 + 0,0337 * t + 0,000221 * t^2) \quad \text{см}^2/\text{сек}, \quad (8)$$

где t - температура жидкости. Вычисленные по (8) значения ν приведены в табл.3.

Таблица 4

Значения кинематического коэффициента вязкости воды (см²/сек)

t, °C	0	1	5	10	20	30	40	50	90	100
ν	,0178	,0131	,0114	,0101	,0081	,0066	,0055	,0031	,0028	

Для ориентировочных расчетов принимают $\nu = 0,01$ см²/сек. Для других жидкостей можно привести средние значения кинематического коэффициента вязкости ν (см²/сек) при $t = 15^\circ\text{C}$:

Бензин.....	0,008-0,009
Керосин.....	0,0250,030
Нефть.....	0,20-0,60
Машинное масло.....	0,40
Глицерин.....	12,0
Ртуть.....	0,00125
Сталь жидкая (t=15°C)...	0,00370

Для опытного определения вязкости применяют прибор под названием *вискозиметр Энглера*, представляющий собой цилиндрический сосуд объемом 200 см³, наполненный сначала дистиллированной водой при температуре 20°C, а затем испытуемой жидкостью. Отношение времени истечения испытуемой жидкости ко времени истечения дистиллированной воды называется вязкостью в градусах Эйлера (°E). Для перехода к кинематическому коэффициенту вязкости применяется эмпирическая формула:

$$\nu = 0,074 * ^\circ\text{E} - 0,135 / ^\circ\text{E}. \quad (9)$$

Прежде чем переходить к дальнейшему изложению заметим, что в гидравлике для упрощения ряда теоретических выводов используют понятие *идеальной*, или *совершенной жидкости*. Идеальная жидкость обладает *абсолютной* несжимаемостью, полным отсутствием температурного расширения и не оказывает сопротивление растягивающим и сдвигающим усилиям.

Конечно идеальная жидкость - жидкость фиктивная, не существующая в действительности, но все реальные жидкости в той или иной степени обладают всеми перечисленными выше свойствами.

Вопросы для повторения:

1. Что называется жидкостью. В чем отличие жидкостей от газов и твердых тел?
2. Что называется объемным весом жидкости и от чего он зависит?
3. Что называется плотностью жидкости?
4. Что называется вязкостью жидкости?
5. Что называется "идеальной" жидкостью и ее свойства.

3 - тема. ГИДРОСТАТИКА. СВОЙСТВА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ГИДРОСТАТИКИ. ВАКУУМ.

В данном разделе дается определение гидростатического давления, формулируются его свойства. Приведено определение избыточного и манометрического давления, а также приведенной и пьезометрической высот давления. Дано понятие гидростатического и пьезометрического напоров и вакуума.

Сила давления внутри жидкости. В гидростатике рассматриваются жидкости, находящиеся в состоянии покоя. На жидкость могут действовать три силы: внешние силы (давление атмосферы, поршня и т.п.); силы тяжести (вес); силы давления внутри жидкости. В гидростатике, в основном, рассматриваются последние силы, которые называются силами давления или просто давлением жидкости.

Рассмотрим произвольный объем жидкости, находящийся в состоянии покоя (рис. 1). Разделим этот объем на две части (I, II) и удалим одну из них. Для того, чтобы оставшаяся часть объема жидкости оставалась в состоянии покоя необходимо по плоскости раздела приложить какие-то силы, компенсирующие действие удаленной части объема жидкости. Возьмем на плоскости раздела точку А и определим равнодействующую сил в этой точке. Разложим равнодействующую на две составляющие Т и Р так, чтобы сила Т лежала в плоскости раздела, а сила Р была перпендикулярна этой плоскости.

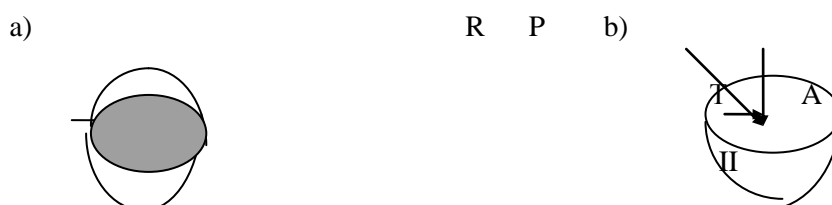


Рис.1. Силы, действующие внутри жидкости

Очевидно, что сила Т существовать не может, т.к. нарушается состояние покоя в силу того, что жидкость не оказывает сопротивление сдвигу по определению идеальной жидкости. Нормальная сила Р не вызовет никаких изменений в положении точки А, т.к., опять-таки по определению идеальная жидкость абсолютно несжимаема.

Таким образом в покоящейся жидкости могут существовать только силы, направленные нормально к поверхности на которую они действуют - силы давления.

Гидростатическое давление. Пусть сила Р действует на элементарную площадку $\Delta\omega$, тогда отношение

$$P/\Delta\omega = p \quad (10)$$

называется *гидростатическим давлением* на площадку $\Delta\omega$. Размерность гидростатического давления кг/см² или т/м².

Таким образом гидростатическим давлением в данной точке называется предел отношения силы Р к площади $\Delta\omega$ при уменьшении площади $\Delta\omega$ до нуля, т.е

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} (P/\Delta\omega) \quad (11)$$

$$\Delta\omega \rightarrow 0$$

Свойства гидростатического давления. Гидростатическое давление обладает двумя свойствами:

1. гидростатическое давление всегда нормально к площадке, на которую оно действует (это свойство доказано ранее) и
2. гидростатическое давление не зависит от ориентации (угла наклона) площадки на которую действует, а зависит только от положения точки в пространстве. Другими словами гидростатическое давление есть функция координат точки, т.е. $p=f(x,y,z)$.

Основное уравнение гидростатики. Определим гидростатическое давление в любой точке на произвольной глубине под свободной поверхностью.

Рассмотрим покоящуюся жидкость, причем на свободной поверхности пусть давление будет p_0 , отличное от атмосферного. Определим гидростатическое давление в точке А на глубине h под свободной поверхностью. Выделим вокруг точки А элементарную площадку $\Delta\omega$. Через контур этой площадки проведем вертикальную цилиндрическую поверхность до пересечения со свободной поверхностью. Получим цилиндр с основанием $\Delta\omega$ и высотой h . На этот цилиндр действуют силы:

1. на нижнее основание сила давления P , направленная вверх по вертикали;
2. на верхнее основание - сила давления на свободную поверхность p_0 , направленная вниз по вертикали;
3. на боковую поверхность - серия сил P_1, P_2, P_3 и т.д., лежащие в горизонтальной плоскости;
4. сила тяжести, равная весу G жидкости в объеме цилиндра, направленная вниз по вертикали.

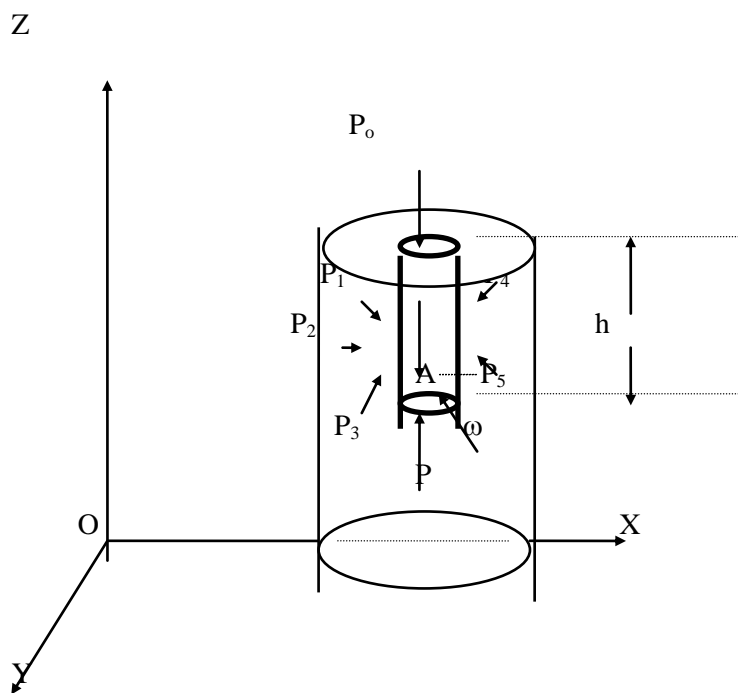


Рис. 2. Давление жидкости в точке А на глубине h

Определим проекции этих сил на оси координат и для равновесия цилиндра необходимо, чтобы сумма проекций этих сил была равна нулю.

Силы, действующие на боковую поверхность взаимно уравниваются и остаются силы, действующие по вертикали - P , P_0 и G .

Уравнение равновесия будет:

$$P - p_0 \omega - \omega \gamma h = 0, \text{ или } P = p_0 \omega + \omega \gamma h$$

Разделив обе части уравнения на ω и переходя к пределу, получим:

$$\lim_{\Delta \omega \rightarrow 0} (P/\omega) = p_0 + \gamma h,$$

$$\Delta \omega \rightarrow 0$$

или

$$p = p_0 + \gamma h. \quad (12)$$

Это и есть основное уравнение гидростатики - гидростатическое давление в любой точке покоящейся жидкости равно давлению на свободной поверхности сложенному с весом столба жидкости, площадь основания которого равна единице, а высота - глубине погружения этой точки под свободной поверхностью.

Кроме полного гидростатического давления в гидравлике различают: избыточное p_n и манометрическое давление p_m .

Избыточное давление равно разности между полным давлением и давлением на свободной поверхности

$$p_n = p - p_0 = \gamma h. \quad (13)$$

Разность между полным давлением и атмосферным называется манометрическим давлением p_m

$$p_m = p - p_a. \quad (14)$$

В открытых сосудах избыточное давление и манометрическое равны, т.к. давление на свободной поверхности p_0 равно атмосферному p_a .

Гидростатическое давление кроме кг/см^2 , т/м^2 и атмосфер может быть выражено высотой столба жидкости. Разделив обе части основного уравнения гидростатики на γ , получим

$$p/\gamma = p_0/\gamma + h.$$

Все члены этого уравнения имеют линейную размерность, а выражение

$$h_{пр} = p/\gamma \quad (15)$$

называют *приведенной высотой давления*.

Аналогично выражение

$$h_n = p_m/\gamma \quad (16)$$

называется *пьезометрической высотой*.

Высоты столбов воды и ртути, соответствующих давлению в одну техническую атмосферу равны:

1. для воды при $p = 1,0 \text{ кг/см}^2$ и $\gamma = 0,001 \text{ кг/см}^3$

$$h_{\text{м вод.ст.}} = p/\gamma = 1,0/0,001 = 1000 \text{ см} = 10 \text{ м вод.ст.}$$

2. для ртути при $p = 1,0 \text{ кг/см}^2$ и $\gamma_{рт.} = 0,0136 \text{ кг/см}^3$

$$h_{\text{м рт.ст.}} = p/\gamma = 1,0/0,0136 = 73,5 \text{ см} = 0,735 \text{ м} = 735 \text{ мм рт.ст.}$$

Вакуум. Мы рассматривали гидростатическое давление равное или большее атмосферного. Однако в закрытых сосудах на свободной поверхности и в самой жидкости давление в определенных случаях может быть и меньше атмосферного. В этих случаях говорят, что в сосуде имеется вакуум (от латинского слова *vacuum* - разрежение).

Обозначая величину вакуума через p_v , а давление в разреженном пространстве через $p_{разр}$, получим

$$p_v = p_a - p_{разр}. \quad (17)$$

Очевидно величина вакуума меняется от 0 до 1 атмосферы. Вакуум может измеряться в тех же единицах, что и давление, а вакуумметрическая высота равна

$$h_v = (p_a - p_{\text{разр}}) / \gamma = p_v / \gamma \quad (18)$$

или

$$p_v = \gamma h_v. \quad (19)$$

Предельная высота вакуума может быть равна 10 м вод.ст., на практике возможен вакуум равный 7 м вод.ст.

Для измерения гидростатического давления применяют *пьезометры, ртутные и металлические манометры*, а для измерения вакуума *вакуумметры*.

Наряду с приведенной и пьезометрической высотами в гидростатике применяется понятие *гидростатического напора*.

Гидростатическим напором H_s в данной точке жидкости А по отношению к плоскости сравнения О-О называется сумма двух слагаемых: приведенной высоты давления и вертикальной координаты точки по отношению к плоскости О-О (рис.1).

$$H_s = h_{\text{пр}} + z \quad (20)$$

или

$$H_s = p / \gamma + z \quad (21)$$

Полное гидростатическое давление равно $p = p_0 + \gamma h$, тогда

$$H_s = p_0 / \gamma + (h + z).$$

Так как давление на свободной поверхности для всех точек одинаково и сумма высот $(h+z)$ также постоянна для всех точек покоящейся жидкости, то

$$H_s = p_0 / \gamma + (h + z) = \text{const},$$

или

$$H_s = p / \gamma + z = \text{const}, \quad (22)$$

т.е. величина гидростатического напора для всех точек покоящейся жидкости есть величина постоянная.

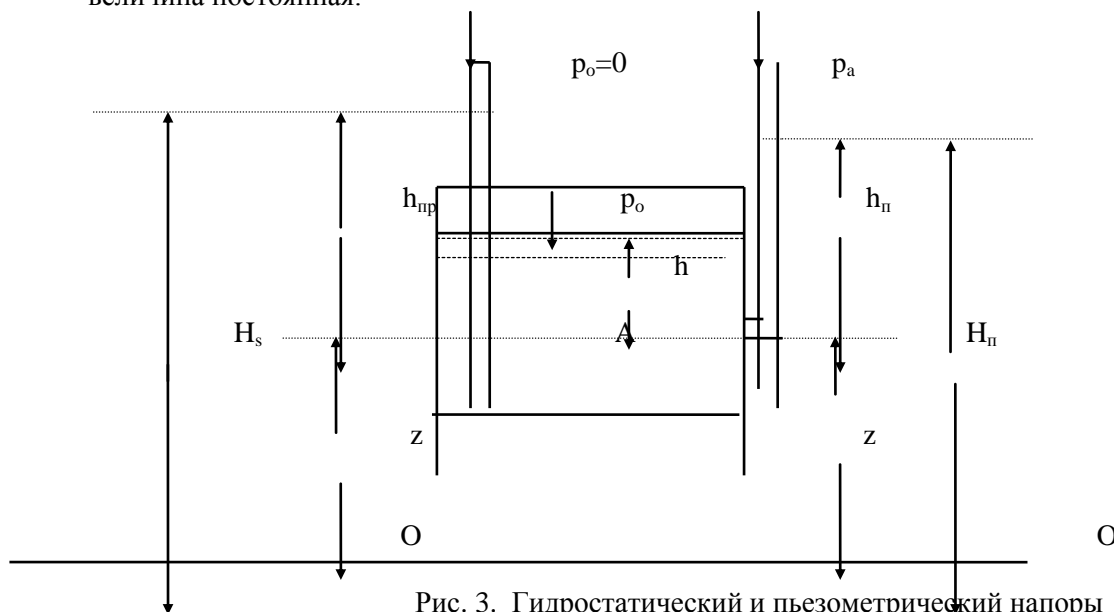


Рис. 3. Гидростатический и пьезометрический напоры

Если в точке А (рис.3) поставить открытую сверху трубку давление в которой будет атмосферным, то жидкость в пьезометре поднимется на высоту $h_{\text{п}}$. Тогда сумма двух высот пьезометрической $h_{\text{п}}$ и ординаты z называется *пьезометрическим напором* $H_{\text{п}}$.

$$H_n = (p - p_0) / \gamma + z = (p / \gamma + z) - p_a / \gamma$$

или

$$H_n = H_s - p_a / \gamma.$$

Так как p_a не зависит от положения точки А, то

$$H_s = h_{np} + z = \text{const.} \quad (23)$$

Вопросы для повторения:

1. Что называется гидростатическим давлением?
2. Какие основные свойства гидростатического давления?
3. Что называется полным, избыточным и манометрическим давлением?
4. Что называется гидростатическим и пьезометрическим напором?
5. Какие приборы применяются для измерения давления?
6. Что называется вакуумом?

Тема - 4. ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ НА ПЛОСКИЕ СТЕНКИ

Тема посвящена расчетам гидростатического давления на плоские стенки. Рассматриваются случаи давления на часть стенки и случай давления жидкости на плоские стенки при давлении с двух сторон. Дается определение центров тяжести и центров давления.

Давление жидкости на плоские стенки. Эпюра давления. Гидростатическое давление может быть представлено в виде эпюры давления (рис.4).

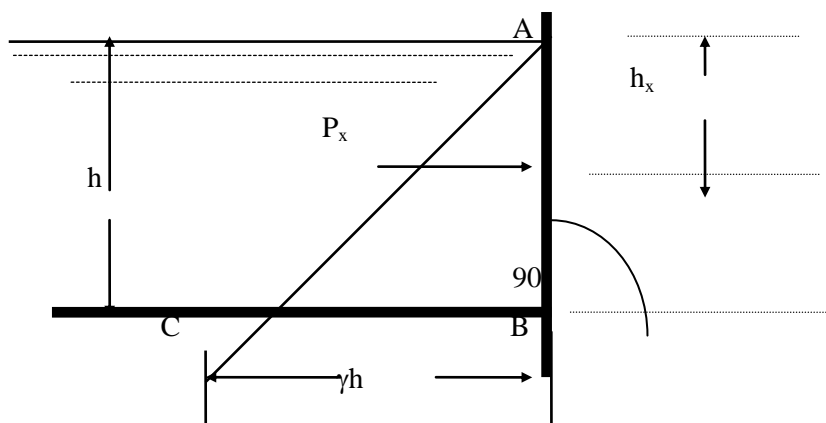


Рис. 4. Эпюра избыточного гидростатического давления на плоскую вертикальную стенку.

Согласно уравнения (13) гидростатическое давление возрастает с увеличением глубины от свободной поверхности. Определим избыточное давление на плоскую вертикальную стенку АВ (рис.4). Избыточное давление на свободной поверхности равно $p_A = 0$. Давление в произвольной точке x на глубине h_x будет $p_x = \gamma h_x$ и в точке В - $p_B = \gamma h$, т.е. зависимость линейна.

Прямоугольный треугольник ABC является эпюрой избыточного гидростатического давления жидкости на вертикальную стенку АВ. Выше дано определение гидростатического давления как предел отношения силы на площадь, тогда сила давления на плоскую вертикальную стенку будет

$$P = p \cdot S,$$

где S - площадь стенки. Для прямоугольной стенки сила давления равна

$$P = \gamma h^2 b / 2, \quad (24)$$

• где b - ширина стенки. Аналогично строится эпюра избыточного гидростатического давления на наклонные стенки. Нужно иметь в виду, что $AB \neq h$ и в этом случае катеты прямоугольного треугольника ABC равны $BC = \gamma h$ и $AB = h / \sin \alpha$, где α - угол наклона стенки AB к горизонту. Также необходимо помнить, что ордината γh всегда откладывается перпендикулярно к стенке AB , а глубина h по вертикали независимо от наклона стенки.

Сила давления на наклонные стенки равна

$$P = \gamma h^2 b / 2 \sin \alpha. \quad (25)$$

Эпюра давления на часть вертикальной стенки изображается трапецией $MDEN$ с основаниями $MD = \gamma h_1$ и $NE = \gamma h_2$ и высотой $DE = h_2 - h_1$, где h_1 и h_2 - глубины точек D и E под свободной поверхностью (рис.5).

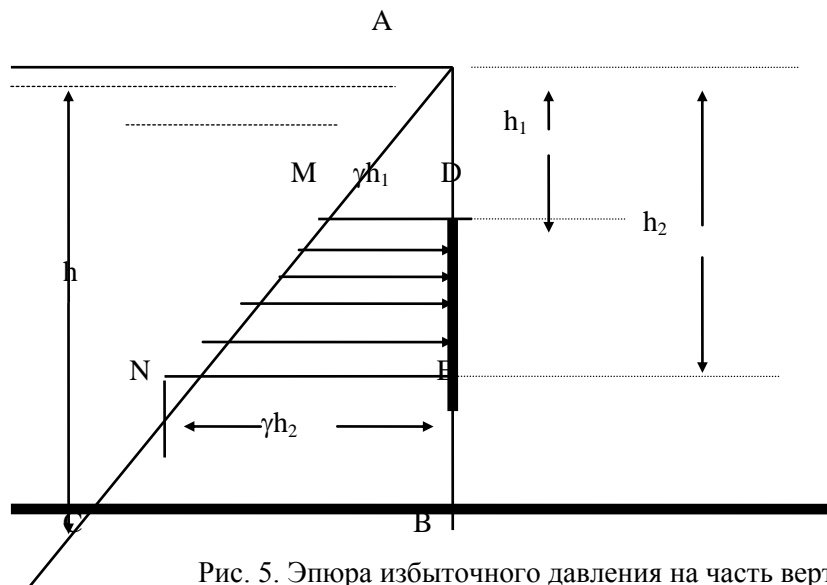


Рис. 5. Эпюра избыточного давления на часть вертикальной стенки

Мы рассмотрели случаи давления жидкости на плоские стенки с одной стороны. В практике гидротехнического строительства возможны случаи двустороннего давления жидкости на стенки. Разберем случай давления жидкости на вертикальную плоскую стенку при давлении жидкости с двух сторон (с верхнего и нижнего бьефов).

На рис.6 изображена эпюра давления на плоскую вертикальную стенку в случае двустороннего давления жидкости. Избыточное давление слева (γh_1) равно площади прямоугольного треугольника ABC , справа - (γh_2) треугольника MBN . Результирующее давление будет равно разности площадей этих треугольников и равно площади трапеции $ABEK$ с основаниями $AB = h_1$ и $KE = MB = h_2$, а высота трапеции $KM = BE = \gamma h_1 - \gamma h_2 = \gamma (h_1 - h_2)$.

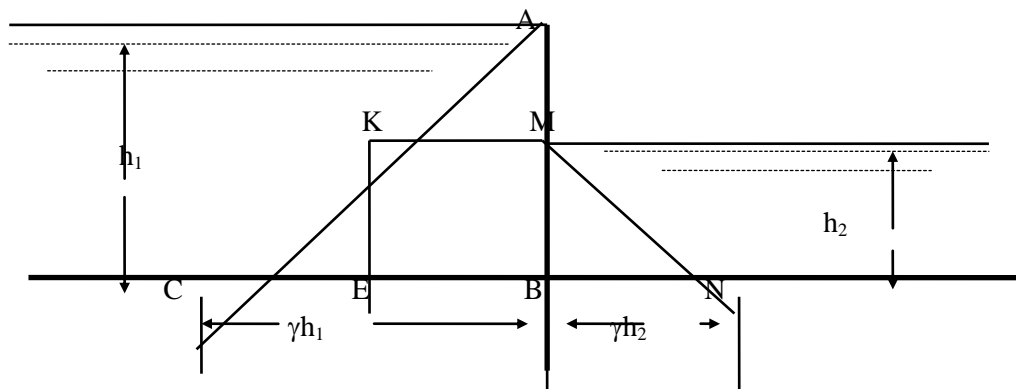


Рис. 6. Двустороннее давление жидкости на плоскую вертикальную стенку

Центр давления. Точка к которой приложена сила давления называется *центром давления*. Нужно иметь в виду, что центр давления всегда лежит ниже центра тяжести площадки на которую давит жидкость. В табл.4 приведены формулы для расчета центров тяжести и давления для различных плоских стенок.

Таблица 5

Глубина погружения центров тяжести и давления
на плоские стенки

Форма стенки	Площадь стенки	Глубина погружения центра тяжести	Глубина погружения центра давления	Сила давления на стенку
Прямоугольник	Bh	$h/2$	$2h/3$	$\gamma h^2 b$
Квадрат	$B^2=h^2$	$h\sqrt{2}/2$	$7h\sqrt{2}/12$	$\gamma h^3 \sqrt{2}/2$
Равнобедренный треугольник	$bh/2$	$h/3$	$h/2$	$\gamma h^2 b/6$
Трапеция	$(B+b)h/2$	$h(2b+b)/3(b+B)$	$h(3b+B)/2(b+B)$	$\gamma h^2 (b+B)/6$
Круг	πr^2 ; $h=2r$	$r=h/2$	$5r/4$	$\gamma \pi r^3$
Полукруг	$\pi r^2/2$	$4r/3\pi$	$3\pi r/16$	$2\gamma r^3/3$

Давление жидкости на дно сосуда. В практике сосуды и резервуары имеют горизонтальное дно и поэтому $h_c=h$ и

$$P=h\gamma\omega, \quad (26)$$

т.е. сила давления жидкости на плоское горизонтальное дно сосуда равна весу столба жидкости, имеющего основанием дно сосуда, а высоту - h глубину погружения дна под свободной поверхностью.

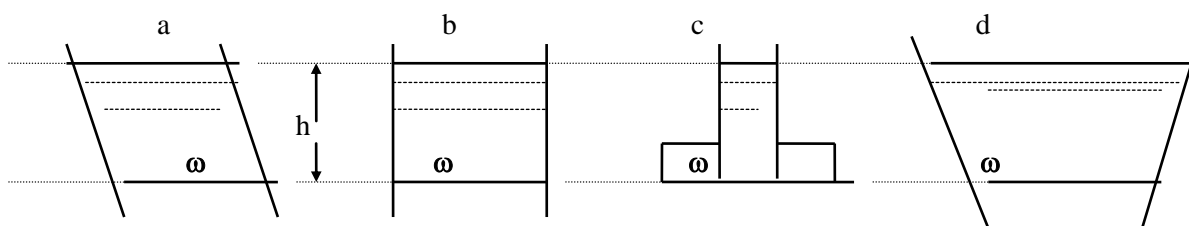


Рис.7. Схема к объяснению гидростатического парадокса

Гидростатический парадокс. Из формулы (26) видно, что если мы нальем одну и ту же жидкость (γ) в разные по форме сосуды (a, b, c, d), но они имеют одну и ту же площадь дна (ω) и столб налитой жидкости одинаков (h), то независимо от формы сосуда сила давления жидкости на дно сосудов будет одинаковой (рис.7).

Вопросы для повторения:

1. Что называется центром тяжести и центром давления?
2. Форма эпюры давления при давлении жидкости на часть плоской стенки и при давлении жидкости с двух сторон.
3. Чему равно давление на горизонтальное дно сосуда?
4. В чем заключается сущность гидростатического парадокса?

Тема - 5. ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ

В разделе рассматриваются вопросы особенностей давления жидкости на цилиндрические поверхности. Приведены расчетные формулы для вертикальной и горизонтальной составляющих, а также равнодействующей сил давления. Показано влияние формы цилиндрической поверхности на направление и величину силы давления.

Давление жидкости на цилиндрические поверхности. Определим давление на цилиндрическую поверхность АВ. Для такого рода поверхностей отдельно рассчитываются горизонтальная (P_x) и вертикальная (P_z) составляющие силы давления. Пусть имеем цилиндрическую поверхность АВ (рис.8) подверженную одностороннему давлению жидкости. Выделим на криволинейной поверхности АВ элементарную $\Delta\omega$ на глубине h . Давление на эту площадку ΔP будет нормально к поверхности АВ. Проведем оси координат (ОХ и ОZ) и разложим $\Delta P = \gamma h \Delta\omega$ на две составляющие - горизонтальную $\Delta P_x = \Delta P \cdot \cos\alpha$ и вертикальную $\Delta P_z = \Delta P \cdot \sin\alpha$.

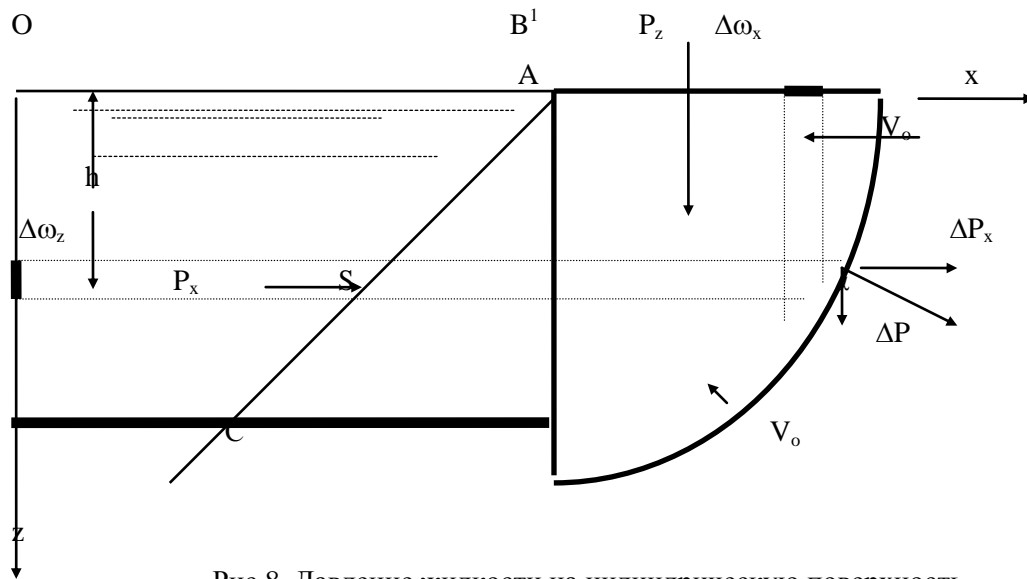


Рис.8. Давление жидкости на цилиндрическую поверхность

Горизонтальная составляющая силы давления. Учитывая сказанное получим

$$\Delta P_x = \gamma h \Delta\omega_x \cdot \cos\alpha$$

Но $\Delta\omega_x \cdot \cos\alpha$ - площадь проекции $\Delta\omega$ на вертикальную плоскость - $\Delta\omega_z$. Тогда $P_x = \gamma h \Delta\omega_z$, а горизонтальная составляющая силы давления равна

$$P_x = \sum \Delta P_x = \sum \gamma h \Delta\omega_z,$$

или

$$P_x = \gamma \sum h \Delta\omega_z.$$

Выражение $\sum h \Delta\omega_z$ - статический момент всей площади проекции ω_z относительно свободной поверхности и равно

$$\sum h \Delta\omega_z = h_c \omega_z.$$

Горизонтальная составляющая силы давления равна

$$P_x = \gamma h_c \omega_z \quad (27)$$

где h_c - глубина погружения центра тяжести цилиндрической стенки под свободной поверхностью. Величина P_x может быть выражена площадью S эполры BB^1C .

Вертикальная составляющая силы давления. Элементарная составляющая вертикальной силы давления равна

$$\Delta P_z = \Delta P \sin\alpha = \gamma h \Delta\omega \sin\alpha.$$

Произведение $\Delta\omega \sin\alpha$ - площадь проекции $\Delta\omega$ на горизонтальную плоскость - $\Delta\omega_x$. Тогда

$$\Delta P_z = \gamma h \Delta \omega_x.$$

Произведение $\Delta \omega \sin \alpha = \Delta V_o$ - объем элементарной призмы давления и

$$\Delta P_z = \gamma \Delta V_o.$$

Вертикальная составляющая силы давления P_z равна

$$P_z = \sum \Delta P_z = \sum \gamma \Delta V_o = \gamma \sum \Delta V_o,$$

или

$$P_z = \gamma V_o, \quad (28)$$

где V_o - объем тела давления.

Таким образом *вертикальная составляющая силы давления* равна весу жидкости в объеме тела давления.

В зависимости от формы криволинейной поверхности давление может быть двух видов: надавливающее (положительное), или выпирающее (отрицательное). Кроме того, если форма цилиндрической поверхности такова, что в одной ее части давление положительно, а в другой отрицательно, то вертикальная составляющая получается как разность двух тел давления - положительного и отрицательного.

Равнодействующая силы давления. Равнодействующая двух составляющих силы давления равна

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}. \quad (29)$$

Направление силы давления можно определить из выражений:

$$\sin \alpha = P_z / P; \quad \cos \alpha = P_x / P; \quad \operatorname{tg} \alpha = P_z / P_x. \quad (30)$$

Определив направление силы P и найдя точки приложения сил P_x и P_z продолжаем их векторы до пересечения. Затем проведя силу P под углом α продолжаем ее до пересечения с криволинейной поверхностью - точка приложения силы P .

Вопросы для повторения:

1. Какие особенности давления на цилиндрические поверхности?
2. Как рассчитываются горизонтальная и вертикальная составляющие сил давления?
3. От чего зависит знак и направление вертикальной составляющей силы давления?
4. Как определить направление и центр давления на цилиндрические поверхности?

Тема - 6. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ. ЗАКОН АРХИМЕДА. УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ ТЕЛ

Рассматриваются силы, действующие на плавающее тело. Определяются условия плавания тел и устойчивость плавающего тела. Дана основные характеристики плавающего тела - центра тяжести, центра водоизмещения и метацентра.

Закон Архимеда. Закон гласит: *на погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу жидкости, вытесненной телом.*

Пусть h - высота цилиндра, ω - площадь его основания, V - объем

цилиндра, h_1 и h_2 - глубины погружения верхнего и нижнего оснований (рис.9). На цилиндр действуют силы:

1. вертикальная P_1 на верхнее основание;
2. вертикальная P_2 на нижнее основание;

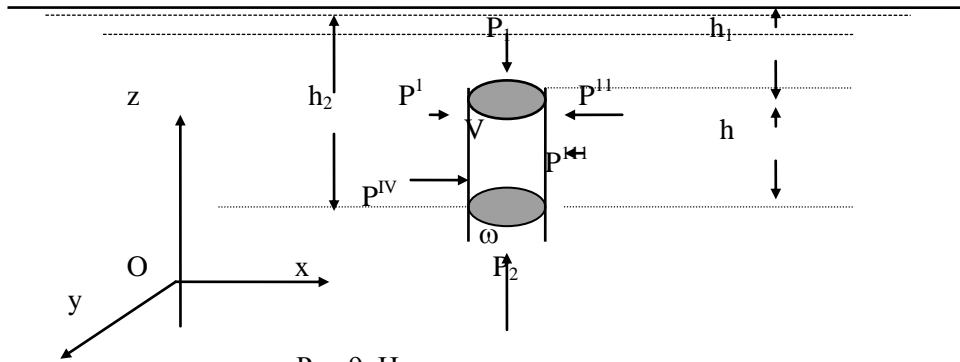


Рис.9. Цилиндрическое тело, погруженное в жидкость

3. горизонтальные силы на боковую поверхность цилиндра, P^I, P^{II} и т.д., которые взаимно уравновешиваются.

Вертикальные силы равны

$$P_1 = \gamma h_1 \omega; \quad P_2 = \gamma h_2 \omega.$$

Так как $h_2 > h_1$, то $P_2 > P_1$, поэтому вертикальная составляющая сил давления будет

$$P_z = P_2 - P_1 = \gamma \omega (h_2 - h_1) = \gamma \omega h.$$

Так как $h\omega = V$ (объем цилиндра), то равнодействующая вертикальная сила P_z стремящаяся вытолкнуть тело из жидкости равна

$$P_z = \gamma V, \quad (31)$$

где V - объем тела, или объем жидкости, вытесненной телом. P_z называется *выталкивающей силой*.

Таким образом, *подъемная (выталкивающая) сила, действующая на тело, погруженное в жидкость, равна весу объема жидкости, вытесненной телом*. Закон справедлив и для тела, плавающего на свободной поверхности.

Плаваемость и условие плавания. *Плаваемостью* называется способность тела плавать при заданном погружении, имея определенный вес.

На всякое тело, погруженное в жидкость, действуют силы: 1) силы тяжести (вес тела) G - по вертикали вниз; 2) подъемная сила P_z - по вертикали вверх и равная весу вытесненной телом жидкости.

Возможны три случая.

1. Вес тела равен выталкивающей силе $G = P_z$ - тело плавает в погруженном состоянии и находится в безразличном равновесии.
2. Вес тела больше подъемной силы $G > P_z$ - тело тонет.
3. Вес тела меньше подъемной силы $G < P_z$ - тело всплывает.

Таким образом при плавании на свободной поверхности необходимо, чтобы вес тела был равен подъемной силе $G = P_z$. Если учитывать нагрузку (Q), то

$$G + Q = P_z. \quad (32)$$

Кратко разберем еще некоторые необходимые свойства плавающего тела.

Величина погружения наиминишей точки плавающего тела называется глубиной погружения или осадкой. Очевидно, что осадка судна в речной воде будет больше, чем в морской, т.к. $\gamma_{\text{реч}} < \gamma_{\text{мор}}$.

Объем погруженной части плавающего тела при полной его загрузке является главной характеристикой судна и называется *водоизмещением*.

Точка приложения силы тяжести называется *центром тяжести*.

Точка приложения подъемной силы называется *центром водоизмещения*.

Так как плавающее тело меняет свой крен (угол наклона), то положение центра водоизмещения также меняется. Точка пересечения оси симметрии плавающего тела с направлением подъемной силы при наклонном положении тела называется *метацентром*.

Итак равновесное плавание тела характеризуется положением трех точек: центра тяжести С, центра водоизмещения D и метацентра М.

1. Если центр тяжести тела лежит ниже метацентра, то *равновесие устойчивое* (пара сил P_z и G стремятся вернуть тело в прежнее положение).
2. Если центр тяжести лежит выше метацентра, то *равновесие неустойчивое* (пара сил P_z и G стремятся увеличить угол наклона тела - крен).
3. Если центр тяжести и метацентр совпадают, то *равновесие безразличное*.

Вопросы для повторения:

1. Как формулируется закон Архимеда?
2. Что называется водоизмещением, осадкой и ватерлинией плавающего тела?
3. Каковы условия для равновесного плавания тел?
4. Что такое остойчивость судна?
5. Как определить остойчивость плавающего тела?

Тема - 7. ОБЩАЯ ГИДРОДИНАМИКА

В разделе дается определение видов движения жидкостей. Выводятся основные уравнения - неразрывности потока и Д.Бернулли. Дается определение элементов движущейся жидкости.

Движение жидкости и уравнение Д.Бернулли Поток жидкости. Как уже сказано выше, в гидродинамике жидкость считается сплошной (непрерывной) средой - *потоком*. Под потоком жидкости в практике подразумевается движение жидкости, ограниченной системой поверхностных тел (стенки трубопровода, берега и дно канала, русла реки и пр.).

Элементы движения жидкости. Причинами движения жидкости являются: сила тяжести, внешнее давление, перепад давлений и т.д. Эти силы считаются заданными, рассчитывать же следует внутреннее давление, скорости течения, расходы и пр.

Виды движения жидкости. В зависимости от изменения во времени основных элементов движения p (гидродинамического давления) и u (скорости в точке) различают два вида движения жидкости - *установившееся и неустановившееся*. *Неустановившееся движение* такое, когда в данной точке постоянно меняются скорость и гидродинамическое давление. Другими словами они зависят не только от координат точки в жидкости, но и от времени: $u=f_1(x,y,z,t)$; $p=f_2(x,y,z,t)$. Примеры неустановившегося движения - истечения из резервуара, когда наполнение его меняется, движение жидкости в реке при разном уровне воды и др.

Установившееся движение такое, при котором в любой точке движущейся жидкости скорости и давление не меняются со временем: $u=f_1(x,y,z)$; $p=f_2(x,y,z)$. Примерами движения могут служить истечение из бака с постоянным наполнением его, движение воды в канале при постоянном наполнении его и др.

В свою очередь установившееся движение разделяется на *равномерное и неравномерное*.

Неравномерным движением называется такой вид движения жидкости, когда элементы движения (скорости, давление, глубины) меняются по длине потока. Примеры такого движения - движение жидкости в конической трубе, движение воды в реках при меняющейся площади поперечного сечения.

Равномерным движением называется такой вид установившегося движения, при котором все элементы движения не меняются по длине потока.

Примеры - движение жидкости по трубам постоянного сечения, движение воды в канале при постоянном его наполнении.

В зависимости от причин движения различают *напорное и безнапорное движение*.

Напорное такое, когда движение происходит под влиянием давления отличного от атмосферного ($p_0 \neq p_a$). Пример - движение жидкости в напорных трубах.

Безнапорное такое, когда движение жидкости обусловлено действием сил тяжести. Пример - движение жидкости в реках, каналах, дренажных и канализационных трубах и пр.

Для изучения законов движения жидкости вводятся понятия: траектории, линии тока и элементарной струйки.

Траектория - путь, проходимый частицей жидкости в различные моменты времени.

Если в каждой точке жидкости отложим вектор скорости в данный момент времени t , а на векторе выберем вторую точку на весьма малом расстоянии Δs от первой точки и снова построим вектор скорости, а затем эту операцию многократно повторим, то линия, соединяющая эти точки (кривая) называется *линией тока*. Таким образом *линия тока* есть кривая, проведенная через ряд точек движущейся жидкости таким образом, чтобы векторы скорости в каждой из них в данный момент времени являются касательными к кривой.

Если в движущейся жидкости выделить элементарную (весьма малую) площадку и через все ее точки как по контуру так и внутри провести линии тока то получим пучок линий тока, который называется *элементарной стружкой*.

Свойства элементарной струйки.

1. Форма элементарной струйки во времени неизменна.
2. Обмен частицами жидкости между соседними стружками невозможен, т.к. векторы скоростей касательны к линиям тока.
3. Скорости течения во всех точках элементарной струйки одинаковы из-за малости ее размеров.

В гидравлике при решении практических задач считают, что поток жидкости состоит из отдельных элементарных струек - *стружчатая модель движения*.

Надо отметить, что в потоке строго говоря, струйки не параллельны друг другу и тогда вводится понятие *плавно изменяющегося движения*.

В этих условиях поток обладает следующими свойствами.

1. Поперечные сечения потока плоские, нормальные оси его.
2. Распределение гидродинамических давлений в этих сечениях подчиняются основному закону гидростатики.
3. Удельная потенциальная энергия (потенциальная энергия единицы веса жидкости), отнесенная к некоторой горизонтальной плоскости сравнения для всех точек поперечного сечения потока одинакова.

Гидравлические элементы сечения и потока. Различают: площадь живого сечения, смоченный периметр и гидравлический радиус.

Живым сечением потока называют поперечное сечение, нормальное к движению струй в потоке. Площадь живого сечения - ω .

Смоченным периметром называют линия соприкосновения жидкости со стенками потока - χ .

Гидравлическим радиусом называют отношение площади живого сечения к смоченному периметру - $R = \omega / \chi$.

Расходом жидкости (Q) называют объем жидкости, протекающий через данное поперечное сечение потока в единицу времени - $Q = \omega V$. Здесь V - средняя в сечении скорость течения. Измеряется расход в л/сек, м³/сек. Соответственно имеем - $V = Q / \omega$ и $\omega = Q / V$.

Уравнение неразрывности установившегося движения жидкости

Как уже сказано в гидравлике поток рассматривают как неразрывную, сплошную среду. Составим уравнение неразрывности для элементарной струйки и потока.

Для элементарной струйки. Рассмотрим отсек жидкости в элементарной стружке между сечениями $\Delta\omega_1$ и $\Delta\omega_2$. Пусть скорости струек будут u_1 и u_2 , а расходы равны ΔQ_1 и ΔQ_2 . По определению расхода жидкости имеем

$$\Delta Q_1 = u_1 \Delta \omega_1 \text{ и } \Delta Q_2 = u_2 \Delta \omega_2.$$

Так как форма элементарных струек неизменна, а жидкость несжимаема, то

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2,$$

или

$$u_1 \Delta \omega_1 = u_2 \Delta \omega_2$$

и т.к. сечения выбраны произвольно, то

$$u_1 \Delta \omega_1 = u_2 \Delta \omega_2 = \dots = u \Delta \omega = \Delta Q = \text{Const.} \quad (33)$$

Выражение (33) и есть уравнение неразрывности для элементарной струйки.

Для потока. Разбивая поток на элементарные струйки напишем:

$$u_1 \Delta \omega_1 = u_2 \Delta \omega_2.$$

Просуммировав обе части уравнения получим

$$\sum u_1 \Delta \omega_1 = \sum u_2 \Delta \omega_2,$$

тогда

$$Q_1 = Q_2 = Q = \text{Const},$$

или

$$\omega_1 V_1 = \omega_2 V_2 = Q = \text{Const}, \quad (34)$$

или

$$V_1 / \omega_1 = V_2 / \omega_2. \quad (35)$$

Выражения (34) и (35) - уравнения неразрывности для потока.

Вопросы для повторения:

1. Перечислите основные элементы движущейся жидкости.
2. Какие виды движения вы знаете?
3. Что такое траектория, линия тока, элементарная струйка и поток жидкости? Какие свойства имеет элементарная струйка?
4. В чем заключается уравнение неразрывности?

Тема - 8. УРАВНЕНИЕ Д.БЕРНУЛЛИ

Уравнение Д.Бернулли занимает особое место в гидродинамике. Рассмотрены понятия удельной энергии для элементарной струйки и потока. Дана гидравлическая интерпретация уравнения Бернулли для потока. Определены условия применимости уравнения Бернулли. Дан вывод принципа Вентури.

Удельная энергия элементарной струйки и потока. Удельной энергией называется энергия, отнесенная к единице веса.

Вычислим удельную энергию элементарной струйки. Пусть масса струйки - m , а скорость - u . Вес струйки - mg , кинетическая энергия - $mu^2/2$. Удельная кинетическая энергия будет

$$e_k = mu^2/2 : mg = u^2/2g.$$

Далее пусть струйка занимает объем W и находится под давлением p . Потенциальная энергия давления - pW , а удельная потенциальная энергия давления

$$e_d = pW/\gamma W = p/\gamma,$$

где - $\gamma W = G$ - вес струйки.

Наконец, пусть струйка находится на некоторой высоте z над произвольной плоскостью сравнения и потенциальная энергия положения равна - mgz , а удельная потенциальная энергия положения

$$e_n = mgz / mg = z.$$

Полная удельная энергия элементарной струйки равна

$$e = u^2 / 2g + p / \gamma + z. \quad (36)$$

Рассматривая поток как сумму элементарных струек определим удельную энергию потока. Выделим внутри потока точку m в произвольном сечении $x-x$. Пусть z - вертикальная ордината точки, p - гидродинамическое давление, V - средняя скорость в сечении $x-x$ (рис.10).

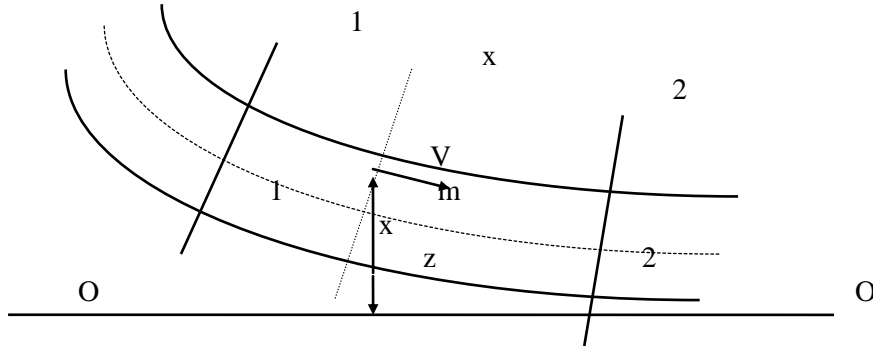


Рис.10. Поток жидкости в сечении $x-x$

Запас *кинетической энергии* в зависимости от положения точки в потоке будет различным. Вычислим среднее значение этого запаса, для чего заменим скорости u_1, u_2, u_3 и т.д. средней скоростью в сечении V . Считая, что поток состоит из n элементарных струек имеем

$$E_k = (u_1^2 / 2g + u_2^2 / 2g + u_3^2 / 2g + \dots + u_n^2 / 2g) : n = \alpha V^2 / 2g,$$

где α - поправочный коэффициент (*корректив скорости*).

Для больших потоков корректив скорости равен 1,1, в трубах и малых потоках, а также при равномерном движении $\alpha = 1,0$. При неравномерном движении в ряде случаев $\alpha > 1,1$.

Удельная потенциальная энергия потока, как отмечено выше равна $E_n = p / \gamma + z = \text{Const}$. Полная удельная энергия потока будет

$$E = \alpha V^2 / 2g + p / \gamma + z. \quad (37)$$

Вывод уравнения Д.Бернулли. Рассмотрим поток в условиях плавной изменчивости. Возьмем два произвольных сечения 1-1 и 2-2. Пусть z_1 и z_2 - вертикальные координаты оси потока в сечениях относительно плоскости $O-O$; p_1 и p_2 - гидродинамические давления в этих точках; V_1 и V_2 скорости течения.

Полная удельная энергия в 1-ом сечении равна

$$E_1 = \alpha V_1^2 / 2g + p_1 / \gamma + z_1$$

во втором

$$E_2 = \alpha V_2^2 / 2g + p_2 / \gamma + z_2$$

Так как при движении жидкости развиваются силы сопротивления то на преодоление их расходуется часть энергии и потому $E_2 < E_1$. Обозначив потерю энергии через h_w , получим

$$E_1 = E_2 + h_w, \quad (38)$$

или

$$\alpha_1 V_1^2 / 2g + p_1 / \gamma + z_1 = \alpha_2 V_2^2 / 2g + p_2 / \gamma + z_2 + h_w \quad (39)$$

Это и есть *уравнение Д.Бернулли*. Все члены уравнения Д.Бернулли имеют линейную размерность.

С точки зрения энергии потока - первые члены уравнения Бернулли *средние запасы удельной кинетической энергии потока* на данном участке, вторые члены - *пьезометрические*

высоты в сечениях и третьи члены - высоты положения произвольно выбранных точек над плоскостью сравнения.

В гидравлике удельная кинетическая энергия называется *скоростным напором* и тогда сумма скоростного напора, пьезометрической высоты и высоты положения называется гидродинамическим напором H_{d1} . Тогда уравнение можно записать в виде:

$$H_{d1} = H_{d2} + h_{\omega}, \quad (40)$$

где h_{ω} - потеря напора на участке 1-1 и 2-2.

Уменьшение удельной энергии потока можно выразить так называемым гидравлическим уклоном

$$I = (H_{d1} - H_{d2}) / L = h_{\omega} / L. \quad (41)$$

В гидравлике также различают *пьезометрический напор*

$$I_{п} = [(p_1 / \gamma + z_1) - (p_2 / \gamma + z_2)] / L. \quad (42)$$

Уравнение Д.Бернулли можно применять при следующих условиях.

1. Выведено уравнение для условий плавной изменяемости потока и потому применять уравнение можно только для сечений вблизи которых эти условия выполняются.
2. Гидродинамические давления и высоты положения можно относить к любой точки потока.

Принцип Вентури. В 1797 г. Вентури использовал совместно два уравнения: неразрывности ($Q = \omega V = \text{Const}$) и Д.Бернулли для горизонтальной трубы ($V^2/2g + p/\gamma$) с сужением (трубка Вентури), названной впоследствии *водомером Вентури*. Участок между нормальным и суженным сечениями был очень мал и поэтому потерей энергии можно было пренебречь.

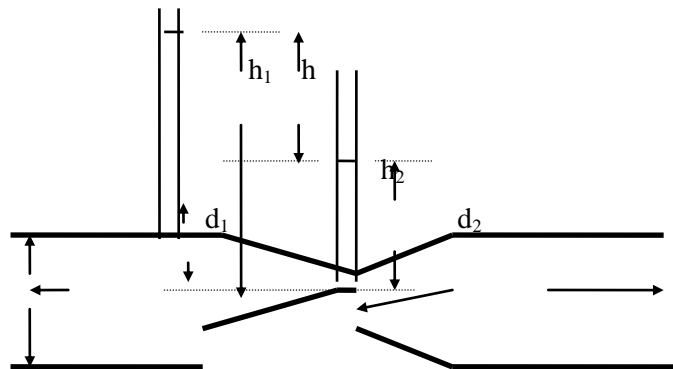


Рис.11 Схема водомера Вентури

Тогда уравнение Бернулли можно записать в виде

$$V_1^2 / 2g + p_1 / \gamma = V_2^2 / 2g + p_2 / \gamma.$$

Отсюда следует, что при

$$V_2 > V_1 \quad p_2 / \gamma < p_1 / \gamma.$$

С другой стороны $\omega_1 V_1 = \omega_2 V_2$ и в суженном сечении $V_2 > V_1$, следовательно $p_2 / \gamma < p_1 / \gamma$, т.е. при постоянстве расхода и неразрывности жидкости давление в суженной части трубы будет меньше, чем в ее нормальном сечении - *принцип Вентури*.

Тогда решая совместно два уравнения и обозначая через $h = p / \gamma$ и $m = \omega_1 / \omega_2$, получим

$$h_1 - h_2 = V_1^2 / 2g * (m^2 - 1). \quad (43)$$

Таким образом зная перепад давления в нормальном и суженном сечениях и соотношение площадей сечений (диаметров труб) можно рассчитать скорость и, следовательно расход воды в трубопроводе.

Вопросы для повторения:

1. Что называется удельной энергией? Дайте определение удельной кинетической, потенциальной давления и потенциальной положения энергией?
2. Что называется гидравлическим и пьезометрическим напором?
3. Чем отличаются удельные кинетические энергии элементарной струйки и потока?
4. Что называется гидравлическим и пьезометрическим напором? При каких условиях они равны?

Тема - 9. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПОТЕРИ НАПОРА

Дана классификация сопротивлений и потерь напора. Рассмотрены два режима движения жидкости. Даны основные расчетные формулы местных потерь напора и по длине потока.

Гидравлические сопротивления и потери напора. Как уже указывалось на преодоление сопротивлений в потоке тратится часть энергии его. Эти сопротивления называются гидравлическими сопротивлениями, а потери энергии в гидравлике чаще называются потерями напора - h_w .

Все гидравлические сопротивления делят на два вида: *сопротивления по длине потока* (h_d) и *местные сопротивления* (h_m). Сопротивления по длине потока обусловлены силами трения и зависят от протяженности потока. Местные сопротивления обусловлены местным препятствием свободному истечению жидкости и не зависят от длины потока. Общие сопротивления равны

$$h_w = h_d + h_m. \quad (44)$$

Кроме непосредственного расчета потерь напора по уравнению Бернулли потери напора вычисляются теоретическим путем по формулам. Как показали экспериментальные данные потери напора существенно зависят от режима движения жидкости.

Два режима движения жидкости. Различают два режима движения жидкостей - *ламинарный* (параллельноструйный) и *турбулентный* (вихревой).

Ламинарным (lamina - слой) называется такой режим, при котором поток движется отдельными струйками или слоями и траектории отдельных частиц не пересекаются.

Турбулентным (turbulentus - беспорядочный) называется такой режим, когда струйчатость потока нарушается, струйки перемешиваются, траектории приобретают сложную форму и пересекаются между собой.

Опыты Рейнольдса. В поток жидкости движущейся по стеклянной трубке - (а) при помощи тонкой трубочки - (b) вводилась краска. В зависимости от скорости движения жидкости краска либо двигалась отдельной струйкой (ламинарный режим), либо краска перемешивалась с жидкостью (турбулентный режим) (рис. 12).

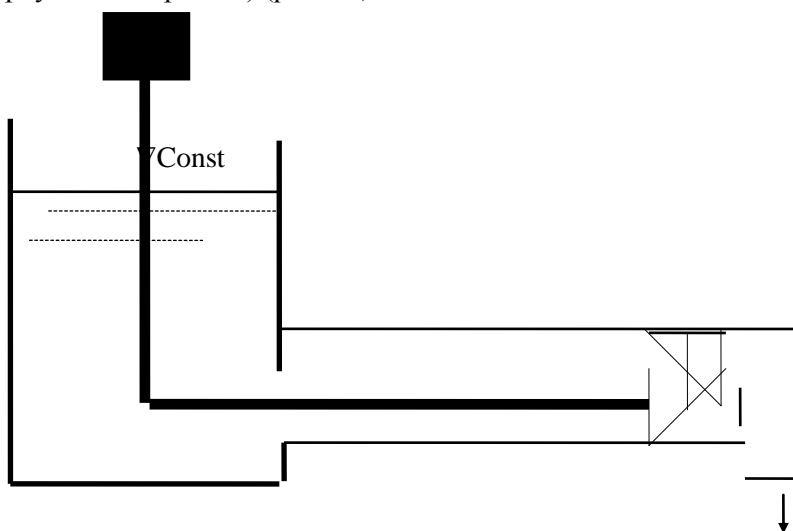


Рис. 12. Схема опытов Рейнольдса

Для определения режима движения Рейнольдс предложил формулу

$$Re=VR/\nu, \quad (45)$$

где V - средняя скорость в сечении потока, R - гидравлический радиус, ν - кинематический коэффициент вязкости, Re - число Рейнольдса (безразмерное). Для определения режима движения по (45) определяют число Рейнольдса и сравнивают его с так называемым критическим числом Рейнольдса $Re_{кр}$, полученным опытным путем.

Если $Re < Re_{кр}$ - режим ламинарный, если $Re > Re_{кр}$ - режим турбулентный.

Для напорного движения в цилиндрических трубах $Re_{кр} \cong 575$, при движении жидкости в открытых потоках $Re_{кр} \cong 300$.

Для напорного движения в трубах удобнее использовать вместо (45) формулу

$$Re=Vd/\nu, \quad (46)$$

d - диаметр трубы. Так как $R=d/4$, то критическое число Рейнольдса равно $Re_{кр} \cong 2300$.

Потери напора по длине потока. Для расчета потерь напора по длине потока при установившемся равномерном движении применяется формула А.Дарси

$$h_d=(\lambda L/4R)*V^2/2g, \quad (47)$$

где λ - безразмерный коэффициент трения Дарси, L - длина расчетного участка потока, R - гидравлический радиус, g - ускорение силы тяжести ($9,81 \text{ м/с}^2$). Формула применяется как для ламинарного так и для турбулентного движения, но с различным значением λ .

Для напорных труб формула имеет вид

$$h_d=(\lambda L/d)*V^2/2g, \quad (48)$$

где d - внутренний диаметр трубы.

Обозначая через $\epsilon_d=\lambda L/d$ - коэффициент сопротивления по длине,

получим

$$h_d=\epsilon_d V^2/2g. \quad (49)$$

Для расчета коэффициента Дарси существует значительное число эмпирических формул, применяемых для ламинарного и турбулентного режимов движения.

Для ламинарного режима наиболее часто применяется формула Пуазейля

$$\lambda=64/Re. \quad (50)$$

Формула расчета коэффициента Дарси для двух режимов движения выведена А.Д.Альтшуль

$$\lambda=0,1*(1,46\Delta/g + 100/Re)^{0,25} \quad (51)$$

Для турбулентного режима различают "гидравлически гладкие", если толщина ламинарного слоя (δ_n) больше выступов шероховатости (λ) и "гидравлически шероховатые" трубы, если высота выступов больше толщины ламинарного слоя. Основные формулы для расчета λ при разных режимах приведены в табл.5.

Таблица 6

Формулы для расчета коэффициента Дарси

Режим движения	Расчетная формула	Автор
Ламинарный $Re < 2300$	$\lambda=64/Re$	Пуазейль
Турбулентный $Re > 2300$ (гладкие стенки)	$\lambda=0,3164/Re^{0,25}$	Блазиус

	$\lambda=1.(18,0*\text{LgRe}-1,5)^2$	П.Н.Конаков
	$\lambda.\sqrt{\lambda}=2*\text{Lg}(\text{Re}\sqrt{\lambda})-0,8$	И.Никурадзе
Турбулентный режим (шероховатые стенки)	$\lambda=7,85n^2/R^{2y}$	Н.Н.Павловский
	$\lambda=124,6(n^{2/3}\sqrt{d})$	Маннинг
При $\text{Re}>4000000$	$\lambda=(1,74+2*\text{Lgt}/\Delta)^{-2}$	Никурадзе

Для предварительных расчетов можно рекомендовать значения $\lambda=00,02-00,03$.

Местные потери напора. Местные коэффициенты сопротивления и соответствующие им потери напора можно получить путем непосредственного измерения элементов уравнения Бернулли до и после сопротивления. Расчет потерь напора ведется по формуле

$$h_m = \varepsilon_m (V^2/2g), \quad (52)$$

где ε_m - безразмерный коэффициент местных сопротивлений (табл.б).

Таблица 7

Значения коэффициентов местных сопротивлений

Наименование местного сопротивления	Коэффициент ε_m	
Вход в трубопровод:		
а) без округления входной кромки	$\varepsilon_{вх}=0,50$	
б) кромка слегка округлена	$\varepsilon_{вх}=0,20-0,25$	
в) весьма плавные очертания	$\varepsilon_{вх}=0,05-0,10$	
Выход из трубы в бассейн (под уровень)	$\varepsilon_{вых}=1,00$	
Колено (плавное закругление):		
а) при радиусе колена более 2d	$\varepsilon_к=0,50$	
б) при радиусе колена $\cong (3-7)d$	$\varepsilon_к=0,30$	
Задвижка на круглой трубе:		
а) полностью открытая	$\varepsilon_з=0,10$	
б) при открытии на 3/4	$\varepsilon_з=0,26$	
в) при открытии на 1/2	$\varepsilon_з=2,00$	
Кран в среднем	$\varepsilon_{кр}=5-7$	
Вентиль в среднем	$\varepsilon_в=1-3$	
Заборная труба с сеткой и клапаном	$\varepsilon_{заб}=5-10$	
Внезапное расширение потока	$\varepsilon_{в.р.}=(\Omega/\omega-1)^2$	
Внезапное сужение потока	ω/Ω	$\varepsilon_{суж}$
	0,10	0,47
	0,20	0,42
	0,30	0,38
	0,40	0,34

	0,50	0,30
	0,60	0,25
	0,70	0,20
	0,80	0,15

Формула общей потери напора. Складывая потери напора по длине и местные мы получаем потери напора на участке потока

$$h_w = h_d + h_m,$$

или

$$h_w = \varepsilon_d (V^2/2g) + \varepsilon_m (V^2/2g).$$

Обозначая далее

$$\sum \varepsilon = \varepsilon_d + \varepsilon_m,$$

получим

$$h_w = \sum \varepsilon * (V^2/2g), \quad (53)$$

где $\sum \varepsilon$ - коэффициент сопротивления системы.

Вопросы для повторения:

1. Что называется гидравлическими сопротивлениями? Как их классифицируют?
2. Как определяют потери напора опытным путем?
3. Какие режимы движения жидкостей существуют? Чем характеризуется режим движения жидкости?
4. Как определяются потери энергии по длине потока?
5. Как определяются местные потери напора?

Уравнение Бернулли для идеальной жидкости

Как известно идеальной жидкостью называется абстрактная жидкость, характеризующаяся абсолютной неизменностью объема и абсолютной подвижностью. Уравнение Бернулли для двух сечений потока такой жидкости можно записать в виде:

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 = Const, \quad (54)$$

здесь $\frac{u_1^2}{2g}$ и $\frac{u_2^2}{2g}$ - скоростные напоры, $\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$ - приведенные высоты давления, z_1 и z_2 - высоты положения сечений над плоскостью сравнения. Все члены уравнения имеют размерность длины. Это гидравлическая интерпретация уравнения Бернулли. Также принято использовать геометрическую и физическую (энергетическую) интерпретации уравнения Бернулли.

Геометрическая интерпретация – сумма трех высот $\frac{u^2}{2g}$, $\frac{p}{\gamma}$ и z обозначается

H_d - называется гидродинамическим или полным напором

$$H_d = \frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z \text{ и для идеальной жидкости } H_d = Const.$$

Физическая интерпретация. С физической точки зрения уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения энергии, заключающийся в единице веса жидкости, протекающей через данное сечение.

Общая удельная энергия состоит из:

- удельной кинетической энергии - $\frac{u^2}{2g}$;
- удельной потенциальной энергии давления - $\frac{p}{\gamma}$ и
- удельной потенциальной энергии положения - z .

Все три вида энергии составляют полную удельную энергию струйки (потока)

$$e = \frac{u^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = \text{Const.} \quad (55)$$

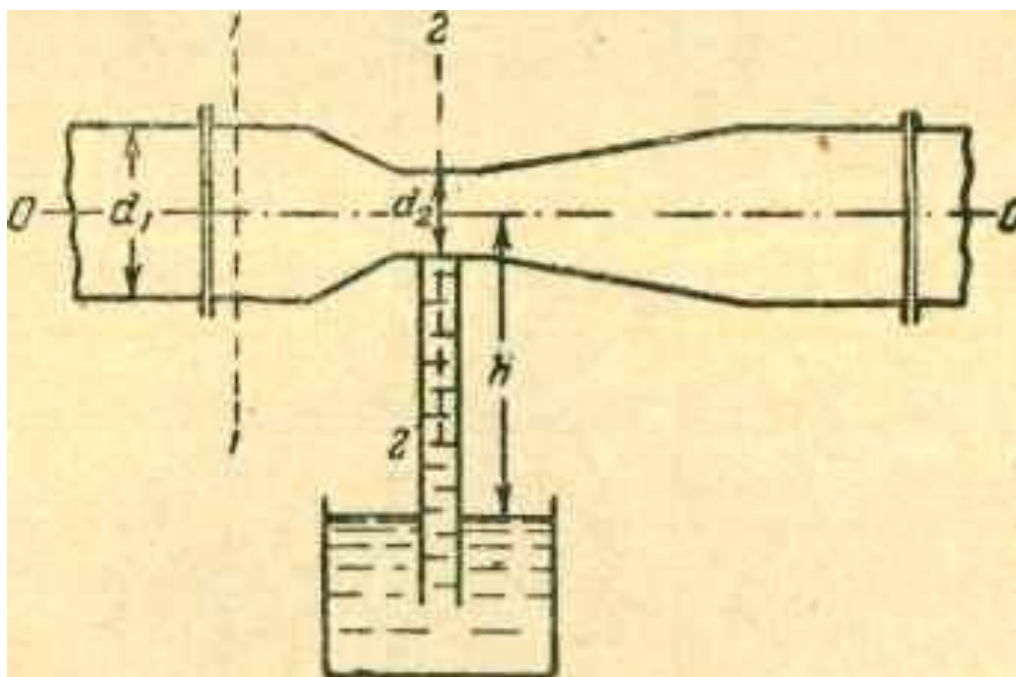


Рис. 13. Схема к уравнению Бернулли (идеальная жидкость)

Тема - 10. ИСТЕЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ И НАСАДКИ

Даны основные понятия истечения жидкости через отверстия и насадки. Приведено определение малых и больших отверстий, затопленных и незатопленных, в тонкой стенке. Дано определение и классификация насадков. Приведены расчетные формулы скорости истечения и расхода воды через отверстия и насадки.

Общие понятия. Основными случаями истечения жидкости на практике являются случаи истечения воды через отверстия в стенках резервуаров и плотин, истечение через короткие патрубки - насадки и через короткие напорные трубы.

При истечении жидкости через отверстия и насадки рассматривается движение жидкости на весьма малом участке и потому потерями напора по длине пренебрегают. При движении же жидкости в коротких трубопроводах потери по длине и местные сопоставимы и потому учитываются оба вида потерь напора. Эти случаи истечения жидкости имеют большой практический интерес, т.к. гидравлический расчет многих гидротехнических сооружений (шлюзов, регуляторов, водоспусков, труб под насыпями дорог, сифонов, докеров, гидромониторов и т.п.) проводится по формулам истечения жидкости из отверстия.

Истечение через отверстие может происходить при *постоянном* и *переменном* напорах. Кроме того истечение может происходить в атмосферу (*незатопленное* отверстие) и под уровень

(отверстие *затопленное*). Также различают случаи истечения жидкости через *малое* и *большое* отверстие и по толщине стенки - истечение через отверстие в *тонкой* и *толстой* стенке.

Отверстие считается *малым*, если его *вертикальный размер* значительно меньше действующего напора. Заметим, что *напором* называется *расстояние от центра отверстия до свободной поверхности*. Считают, что в случае малого отверстия все его точки находятся на одной глубине под свободной поверхностью и скорости течения во всех точках одинаковы. Вертикальные размеры большого отверстия сопоставимы с величиной напора.

Отверстием в тонкой стенке называется такое отверстие, края которого имеют острую кромку и истечение происходит струей не касающейся внешних краев отверстия (толщина стенки должна быть меньше трех диаметров отверстия).

Струи жидкости при истечении из отверстия испытывают большие изменения. Это обусловлено изменением направления струй при подходе к отверстию. Установлено, что при выходе струи из отверстия она испытывает сжатие поперечного сечения. Наибольшее сжатие происходит на расстоянии $0,5d$ (d - диаметр отверстия) от внутренней кромки отверстия и движение жидкости в этом сечении близко к параллельноструйному.

Отношение площади сжатого сечения ω_c к площади сечения самого отверстия ω называется коэффициентом сжатия и обозначается через α

$$\alpha = \omega_c / \omega.$$

Для круглых отверстий диаметр сжатого сечения d_c равен $0,8d$ - диаметра отверстия и $\alpha=0,64$.

Величина коэффициента сжатия зависит от характера сжатия, которое бывает *полным* и *неполным*, *совершенным* и *несовершенным*.

Полным называется такое сжатие, когда оно происходит со всех сторон (I).

Сжатие называется *неполным*, если струя не имеет сжатия с одной или нескольких сторон. К примеру истечение в каналах под щитом.

Сжатие называется *совершенным*, если боковые стенки не оказывают влияния на сжатие вытекающей струи (I). Это происходит, как показывают опытные данные в случае, если граница отверстия удалена от стенок и дна сосуда на утроенную длину соответствующей стороны (рис.14).

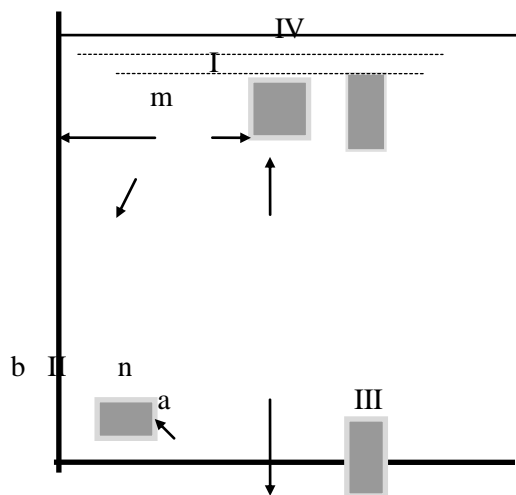


Рис. 14. Виды сжатия струи

Сжатие называется *несовершенным*, если на него оказывают влияние уровень жидкости, стенки и дно сосуда (II, III, IV).

Истечение жидкости через малое отверстие в тонкой стенке при постоянном напоре. Рассмотрим истечение через незатопленное отверстие (рис.15).

Составим уравнение Бернулли для сечений 1-1 (свободная поверхность) и 2-2 (сжатое сечение). Проведем плоскость сравнения О-О через центр отверстия.

$$\alpha_1 V_1^2 / 2g + p_1 / \gamma + z_1 = \alpha_2 V_2^2 / 2g + p_2 / \gamma + z_2 + h_{\omega}$$

Обозначим скорость течения на свободной поверхности через V_0 (скорость подхода) и считая давления на свободной поверхности и в выходном сечении равны атмосферному, получим

$$\alpha V_0^2 / 2g + H = \alpha V^2 / 2g + h_{\omega},$$

или с учетом местных потерь напора $h_{\omega} = h_m = \epsilon_m * V^2 / 2g$

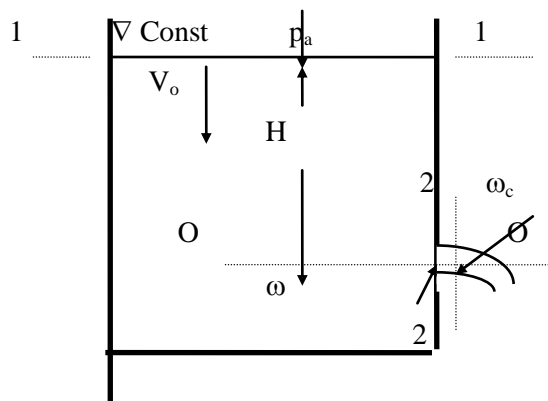


Рис.15. Схема истечения жидкости через отверстие при постоянном напоре

$$H + \alpha V_0^2 / 2g = \alpha V^2 / 2g + \epsilon_m * V^2 / 2g = V^2 / 2g (\alpha + \epsilon_m).$$

Отсюда определяем скорость течения в сжатом сечении

$$V = 1 / (\sqrt{\alpha + \epsilon_m}) * \sqrt{2g * (H + \alpha V_0^2 / 2g)}.$$

Вводя обозначение $\phi = 1 / \sqrt{\alpha + \epsilon_m}$

и

$H_0 = H + \alpha V_0^2 / 2g$, (напор с учетом скорости подхода) получим окончательную формулу для определения скорости течения в сжатом сечении струи

$$V = \phi \sqrt{2g H_0}, \quad (56)$$

где ϕ - коэффициент скорости.

Если скорость подхода мала $V_0 \approx 0$, то

$$V = \phi \sqrt{2g H}, \quad (57)$$

По опытным данным $\epsilon_m = 0,06$ и коэффициент скорости при $\alpha = 1,0$ равен $\phi = 0,97$.

Расход Q равен $Q = \omega_c V$, тогда

$$Q = \alpha \phi \omega \sqrt{2g H_0}.$$

Обозначая через $\mu = \alpha \phi$ (коэффициент расхода), получим окончательную формулу для определения расхода

$$Q = \mu \omega \sqrt{2g H_0}. \quad (58)$$

Для круглых малых отверстий коэффициент расхода равен $\mu = 0,64 * 0,97 = 0,62$.

Истечение через затопленное отверстие. Если истечение происходит не в атмосферу, а под уровень, т.е. если отверстие затоплено, то уравнение Бернулли для сечений 1-1 и 3-3 будет (рис.16)

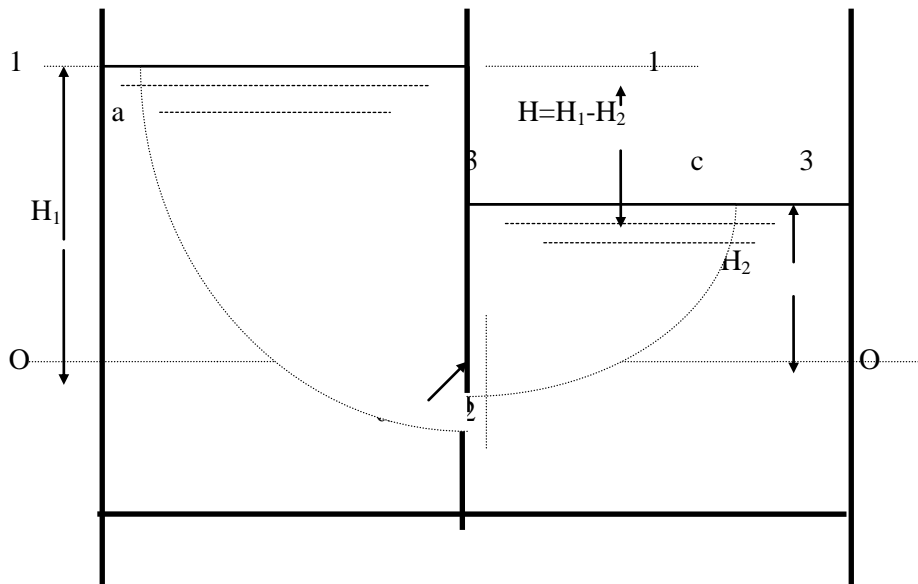


Рис.16. Схема истечения жидкости через малое затопленное отверстие

$$\alpha V_1^2/2g + H_1 = \alpha V_3^2/2g + H_2 + h_{\omega}$$

т.к. $p_1/\gamma = p_2/\gamma = p_3/\gamma$, также $V_1 = V_3 = V_0 \cong 0$, тогда

$$H_1 - H_2 = h_{\omega}$$

Потери напора, как и в предыдущем случае равны $h_{\omega} = (\alpha + \epsilon_m)V^2/2g$, где V - скорость в выходном сечении отверстия.

Тогда

$$V = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (59)$$

где $H = H_1 - H_2$ - разность уровней (напоров) в первом и втором сосудах.

Соответственно

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}. \quad (60)$$

Значения коэффициентов скорости и расхода те же, что и для незатопленного отверстия.

Истечение жидкости через большие отверстия. В гидромелиоративной практике наибольший интерес представляет истечение через большие отверстия (истечение из под шита). Так как вертикальные размеры больших отверстий сопоставимы с напорами, то скорости течения в разных точках струи различны.

$$V_0$$

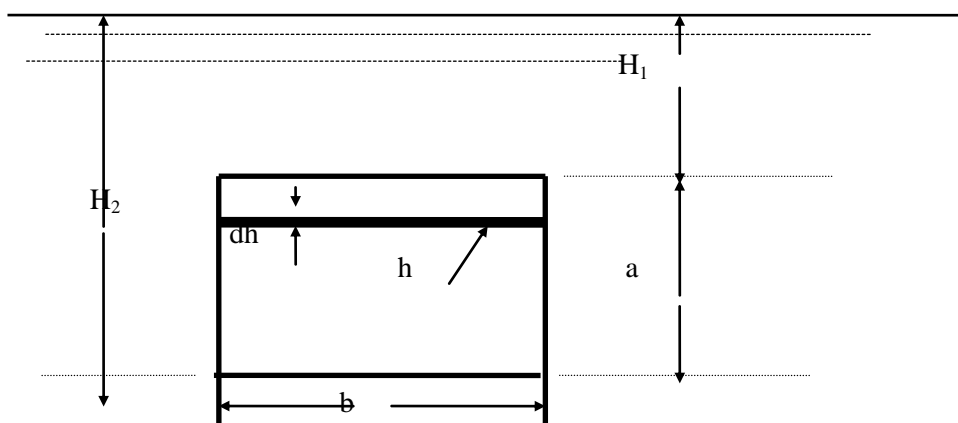


Рис. 17. Истечение через большие отверстия

Пусть имеем большое отверстие (рис.17) и напор над верхней кромкой его - H_1 , над нижней - H_2 , высота отверстия - a и ширина его - b .

Разобьем толщу всего отверстия на элементарные площадки, имеющие одну и ту же ширину - b , а высоту - dh весьма малую по сравнению с напором). Элементарный расход через такое отверстие будет

$$dQ = \mu b dh \sqrt{2gH},$$

где h - переменная глубина погружения элементарной площадки под свободной поверхностью. Для простоты пусть $V_0=0$, а напор колеблется от

H_1 до H_2 . Расход через все большое отверстие будет равен интегралу dQ от H_1 до H_2 . Приводя интегрирование следует помнить, что величина μ коэффициента расхода зависит от напора, поэтому в расчетах берут среднее значение μ от H_1 до H_2 . В итоге получаем так называемую формулу Вейсбаха:

$$Q = 2/3 \mu b \sqrt{2gH} [H_2^{3/2} - H_1^{3/2}]. \quad (61)$$

При предварительных расчетах можно использовать формулу

$$Q = \mu b a \sqrt{2gH}, \quad (62)$$

где H - напор над центром большого отверстия. При расчете по (62) мы увеличиваем расход и при $H=a$ ошибка расчета около одного процента.

Истечение жидкости через насадки. Насадком называется короткий патрубок плотно присоединенный к отверстию в стенке или дне сосуда. чтобы струя выходила полным сечением.

Насадки подразделяются по своей форме. Различают *внутренние* (I) и *внешние* (II) цилиндрические насадки, *конически сходящиеся* (III) и *расходящиеся* (IV) и *коноидальные* насадки (V).

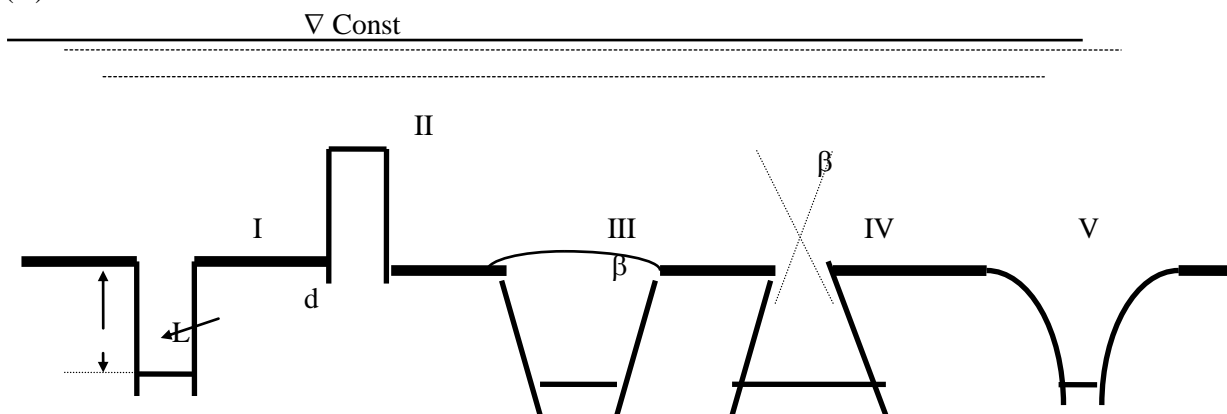


Рис. 18. Насадки

Также как и в случае истечения жидкости через отверстия различают истечение в атмосферу и под уровень.

Общие формулы расчета скоростей и расходов воды те же, что и для отверстий, но коэффициенты расходов для насадков различные.

Внешний цилиндрический насадок (Вентури). Внешний цилиндрический насадок (I) чаще всего имеет длину от 3,5 до 4 диаметров его. Струя у такого насадка полностью заполняет выходное сечение и коэффициент сжатия равен 1,0. Тогда коэффициент расхода μ равен коэффициенту скорости ϕ . По опытным данным коэффициент расхода такого насадка равен 0,82, т.е. больше аналогичного коэффициента для отверстий в 1,32 раза.

С точки зрения физики явления это увеличение расхода объясняется наличием вакуума в сжатом сечении на входе в насадок.

Внутренний цилиндрический насадок (Борда). Этот насадок (II) отличается от насадка Вентури только сопротивлением на входе и коэффициент расхода его равен 0,71.

Конически сходящийся насадок. Такой насадок имеет сужение к выходному сечению (III), что увеличивает как скорость выхода струи, так и расход воды. При угле конусности $\beta \approx 13^\circ$ коэффициент расхода насадка равен 0,95.

Такие насадки применяются в гидромониторах, брандспойтах, в соплах турбин и т.п.

Конически расходящийся насадок. В гидротехнической практике иногда требуется иметь наибольшие скорости на выходе (трубовыпуски). Тогда применяют конически расходящиеся насадки (IV). Для углов конусности $5-7^\circ \mu \approx 0,50$. Во избежание отрыва струи от стенок не рекомендуется превышать угол конусности $10-13^\circ$.

Конoidalный насадок. У такого насадка внутренняя поверхность близка к форме вытекающей струи (V). Сопротивления таких насадков сведены к минимуму и коэффициент расхода у них наибольший - 0,97-0,98.

Вопросы для повторения:

1. В чем заключается особенность истечения через малое отверстие в тонкой стенке?
2. Как классифицируются отверстия и насадки?
3. Что называется коэффициентами сжатия, скорости, расхода?
4. В каких случаях применяются те или иные насадки?
5. Какие бывают сжатия струи?

Тема - 11. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ В НАПОРНЫХ ТРУБАХ

Рассмотрены вопросы расчета напорных трубопроводов. Дано определение коротких и протяженных трубопроводов. Показаны пути расчета потерь напора в трубопроводах.

Общие понятия. Трубопроводы различают по протяженности и выделяют: *длинные и короткие* трубопроводы. В длинных трубопроводах обычно учитывают только потери напора по длине. В коротких трубопроводах учитывают как местные сопротивления так и по длине.

В зависимости от схемы работы трубопроводов различают - простые, не имеющие ответвлений и сложные, состоящие из нескольких линий трубопроводов. У простого трубопровода расход воды по всей его длине постоянен.

Расчет водопровода заключается в определении одной из трех величин: расхода воды Q , напора H или диаметра водопровода - d при известных двух других.

Для решения задачи пользуются уравнением Д.Бернулли

$$V^2/2g+h+z+h_w=H, \quad (63)$$

где $h=r/\gamma$. При расчете потерь напора необходимо знать длину водопровода – L .

Используя формулу Дарси (47) и деля обе части уравнения на L можно получить в итоге

$$I=Q^2/\gamma d^5, \quad (64)$$

т.е. гидравлический уклон (I) при данном расходе зависит от пятой степени диаметра.

Потери напора можно получить из соотношения

$$h_w=(Q^2/K^2)*L, \quad (65)$$

где K - пропускная способность трубы $K=\omega C\sqrt{R}$ (C - коэффициент Шези, см. ниже).

Трубопроводы небольшого протяжения. При расчете коротких трубопроводов рассчитываются сопротивления по длине и местные. Чаще всего на практике требуется рассчитать следующие разновидности непротяженных водопроводов: а) самотечные трубы, б) сифоны, в) дюкеры и г) всасывающие трубы.

Предварительно рассмотрим случай простейшего водопровода (рис.19).

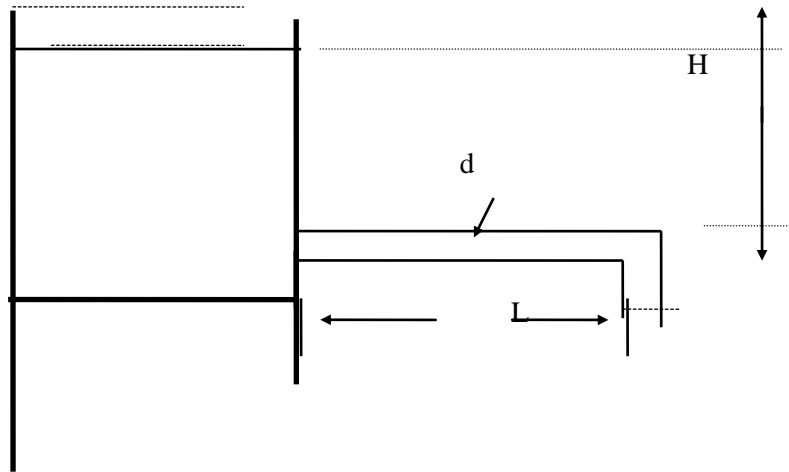


Рис.19. Простейший случай трубопровода

Резервуар питает трубопровод длиной L и диаметром d . Напор равен H . Требуется определить скорость на выходе из трубопровода.

Для решения задачи используем уравнение Бернулли в виде

$$H = V^2/2g + p/\gamma + z + h_{\omega}, \quad (66)$$

где неизвестны V , p и h_{ω} . На свободной поверхности в резервуаре и на выходе из трубопровода давление атмосферное, а проводя плоскость сравнения через центр трубопровода имеем $z=0$. Тогда уравнение имеет вид

$$H = V^2/2g + h_{\omega},$$

здесь два неизвестных (V и h_{ω}). Потерю напора получим из

$$h_{\omega} = \sum \varepsilon * V^2/2g, \quad (67)$$

где $\sum \varepsilon$ - коэффициент сопротивления системы. В данном случае местных: сопротивление входа, колена и выхода и сопротивлений по длине.

Следовательно

$$H = V^2/2g + \sum \varepsilon V^2/2g \quad (68)$$

и

$$V = 1/\sqrt{1 + \sum \varepsilon} * \sqrt{2gH}. \quad (69)$$

Таким образом задача решена.

Вопросы для повторения:

1. Как классифицируются водопроводы по протяженности?
2. Какие виды потерь напора рассчитываются при коротких и длинных водопроводах?
3. Какие формулы применяются для определения коэффициента Дарси?

**Тема - 12. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВОДЫ В ОТКРЫТОМ РУСЛЕ.
ФОРМУЛА А.ШЕЗИ**

Приведен вывод формулы Шези. Даны общие оценки гидравлических сопротивлений в открытых руслах. Даны понятия моделей скорости и расхода.

Формула А.Шези. Как сказано ранее при равномерном движении скорость на всем протяжении потока одинакова. В условиях медленно изменяющегося движения - гидравлический уклон равен уклону дна потока.

Скорость зависит от уклона русла и шероховатости его берегов и дна. А.Шези в 1775 г. была сформулирована эта зависимость, исходя из следующих соображений.

Так как уклоны дна и свободной поверхности одинаковы, то линии дна и свободной поверхности - параллельны. Равномерность движение может осуществиться тогда, когда работа сил сопротивления равна работе сил тяжести.

Пусть объем воды, перемещаемый из I в II имеет элементарный размер ωdl , где ω - площадь живого сечения русла, dl - элемент по длине русла. Пусть при перемещении этого объема воды на расстоянии dx центр тяжести его опустится на величину dz , то работа сил тяжести равна $\gamma \omega dl dz$, где γ - объемный вес воды.

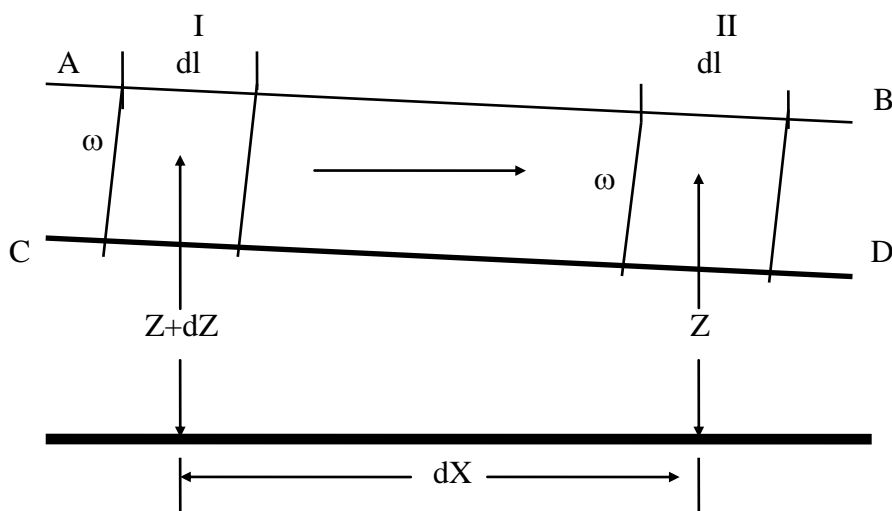


Рис. 20. Схема равномерного движения в открытом русле

Далее, пусть φ - сопротивление течению, отнесенное к единице поверхности берегов и дна, смачиваемых водой, χ - смоченный периметр, тогда работа сил сопротивления равна $\varphi \chi dl dx$.

По условию равномерного движения имеем

$$\gamma \omega dl dz = \varphi \chi dl dx.,$$

откуда

$$dz/dx = i = \varphi / \gamma * \chi / \omega.$$

Далее

$$\chi / \omega = 1/R,$$

тогда

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

По Шези величина φ / γ - пропорциональна квадрату средней скорости течения

$$\varphi / \gamma = b V^2, \tag{70}$$

где b – коэффициент, зависящий от шероховатости, размеров и формы живого сечения русла.

Запишем

$$i=bV^2/R,$$

откуда

$$V=\sqrt{1/b \cdot Ri}=\sqrt{1/b} \cdot \sqrt{Ri}. \quad (71)$$

Обозначая $\sqrt{1/b}$ через C (коэффициент Шези) окончательно получим

$$V=C\sqrt{Ri} \text{ - формула Шези,}$$

вводя понятие модуля скорости (W), получим

$$V=W\sqrt{i}.$$

Расход воды будет равен

$$Q=\omega V=\omega C\sqrt{Ri}, \quad (72)$$

или

$$Q=K\sqrt{i}, \quad (73)$$

K - пропускная способность русла или модуль расхода.

Так как уклон i - величина безразмерная, то W и K имеют ту же размерность, что V и Q .

Вопросы для повторения:

1. *Напишите формулу Шези.*
2. *Что в этой формуле представляет коэффициент "С"?*
3. *Что называется модулем скорости и расхода?*
4. *Какова размерность этих модулей?*

Тема - 13. ГИДРАВЛИЧЕСКИ НАИВЫГОДНЕЙШЕЕ СЕЧЕНИЕ КАНАЛА. ПОВЕРКА КАНАЛОВ НА РАЗМЫВ И ЗАИЛЕНИЕ

Дается определение гидравлически наивыгоднейших форм и размеров каналов, приведены зависимости размеров каналов наивыгоднейших профилей от глубины и крутизны откосов берегов.

Гидравлически наивыгоднейшее сечение канала. Наивыгоднейшим профилем поперечного сечения канала будем считать такой, когда при заданных уклоне русла и площади сечения пропускная способность канала будет наибольшей. Очевидно это условие согласно (2) будет выполняться при $R=\max$, т.е. при $\chi=\min$. Наименьший смоченный периметр, кроме прочего, обеспечит наименьшую величину площади крепления дна и берегов канала.

Наивыгоднейшей формой канала является полукруг, а наименьший смоченный периметр - половина длины окружности. Каналы такого профиля выполняются относительно редко, чаще на практике мы имеем прямоугольный, либо трапециевидный каналы. Тогда для таких профилей наивыгоднейшими будут - при наклонных берегах - *половина правильного шестиугольника*, для вертикальных стенок канала - *половина квадрата*.

Для аналитического вычисления наивыгоднейшего профиля канала выразим длину смоченного периметра χ как функцию соотношения ($u=b/h$). Тогда для нахождения минимума χ надо чтобы $d\chi/du=0$.

Смоченный периметр равен

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2} = (b/h + 2\sqrt{1+m^2})h = (u + 2\sqrt{1+m^2})h.$$

С другой стороны

$$\omega = (b + mh)h = (b/h + m)h^2 = (u + m)h^2,$$

тогда

$$h = \sqrt{\omega / (u + m)}.$$

Подставляя это значение h , получим

$$\chi = (u + 2\sqrt{1+m^2}) / (u + m).$$

Подставляя $u = b/h$ и приравнивая первую производную $d\chi/du$ нулю, запишем

$$2(u + m) = u + 2\sqrt{1+m^2}.$$

Следовательно

$$u = 2(\sqrt{1+m^2} - m).$$

Окончательно *наивыгоднейшее соотношение между глубиной и шириной канала по дну будет*

$$b = 2h(\sqrt{1+m^2} - m). \quad (74)$$

Гидравлический радиус наивыгоднейшего профиля

$$R = \omega / \chi = (u + m)h^2 / (u + 2\sqrt{1+m^2})h,$$

или подставляя выражение u

$$R = (2\sqrt{1+m^2} - m)h / 2(\sqrt{1+m^2} - m) = h/2,$$

т.е. гидравлический радиус наивыгоднейшего русла равен половине его глубины

$$R = h/2 \quad (75)$$

При гидравлическом расчете каналов рекомендуется проводить вычисления в такой последовательности: 1) ω ; 2) χ ; 3) R ; 4) выбор коэффициента шероховатости (n , γ); 5) C ; 6) V и 7) Q . Для облегчения расчетов рекомендуется сначала вычислять модуль расхода (пропускную способность) K , а затем расход воды.

Проверка каналов на размыв и заиление. При расчете каналов кроме средних в сечении скоростей течения необходимо также знать предельно допустимые наибольшие и наименьшие скорости. При больших скоростях возможны размыв дна и стенок канала, при малых скоростях – заиление и зарастание канала.

Таким образом необходимо, чтобы

$$V < V_{\max} \text{ и } V > V_{\min},$$

где V – средние скорости течения, V_{\max} и V_{\min} – наибольшие и наименьшие скорости соответственно. Подробные сведения о допустимых скоростях течения приводятся в специальной справочной литературе. В табл.8 приведены предельные неразрывающие скорости течения для различных грунтов и покрытий каналов.

Таблица 8

Предельные неразрывающие скорости течения, м/с

№№	Род русла и способ его крепления	Предельная допустимая скорость, м/с	
		По дну	Средняя
1	Илистый грунт	0,10	0,15
2	Мелкий песок	0,25	0,35
3	Крупный песок, лесс	0,60	0,80
4	Суглинки, супеси	0,40-0,75	0,55-0,95
5	Гравий и мелкая галька	1,00	1,25
6	Крупная галька, хрящеватый грунт	1,20	1,50
7	Плотная глина	1,50	1,80
8	Каменистый грунт	2,15	2,50
9	Бетон, бутовая кладка	4,50	5,00

В практике минимальная незаилающая скорость определяется по эмпирическим (основанным на результатах опыта) формулам. К их числу относятся формулы И.И.Леви, Кеннеди, Бахметева и др.

Формула И.И.Леви

$$V_{\min} = e\sqrt{R}$$

e – коэффициент, зависящий от крупности наносов и шероховатости русла. Для приближенных расчетов для песчаных, супесчаных, суглинистых и глинистых грунтов можно принимать $e=0,50$.

Формула Кеннеди

$$V_{\min} = 0,55h^{0,64}$$

Бахметев дал формулу для уклонов русел при которых начинается заиление в зависимости от шероховатости его

$$i \geq 0,76n^2$$

Вопросы для повторения:

1. Что называется гидравлически наивыгоднейшим сечением русла?
2. Какое наивыгоднейшее соотношение ширины и глубины русла?
3. Чему равен гидравлический радиус наивыгоднейшего сечения канала?

Тема – 14. НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВОДЫ В ОТКРЫТОМ РУСЛЕ

Рассмотрены основные причины и случаи неравномерного движения в открытом русле. Дано определение призматических и непризматических русел, русел с прямым, обратным и горизонтальным дном.

Неравномерное движение воды в открытых руслах

Неравномерное движение будет наблюдаться в тех случаях, когда по длине потока меняются размеры и форма поперечного сечения, шероховатость русел, уклон потока. При неравномерном движении глубина, ширина и скорости потока меняются вдоль него.

Причинами неравномерного движения могут быть:

- расширение и сужение русла в плане;
- естественные и искусственные преграды и сооружения;
- наличие перепадов, быстотоков и резких изменений уклонов дна;
- различная шероховатость русел.

Выделяют виды неравномерного движения: *подпор*, *спад* и *гидравлический прыжок*.

Подпор образуется чаще всего при устройстве поперечных преград и характеризуется увеличением глубин вдоль потока и уменьшением скоростей течения. Свободная поверхность принимает вид, так называемой *кривой подпора*.

Спад образуется тогда, когда глубины вдоль потока уменьшаются, а скорости возрастают. Образуется при наличии порогов и перепадов дна русел. Свободная поверхность имеет вид *кривой спада*.

Гидравлический прыжок - это резкий переход от малых глубин с большими скоростями течения к большим глубинам с относительно малыми скоростями течения. Гидравлический прыжок образуется в нижнем бьефе при истечении воды через плотины, при перепадах, истечении из-под щита и т.д.

Прежде чем перейти к дальнейшему изложению необходимо дать некоторые определения.

При рассмотрении законов движения жидкости при неравномерном движении вводятся ряд понятий:

- *призматические русла* – такие у которых форма поперечного сечения по длине потока не изменяется и площадь сечения зависит только от глубины потока, т.е. $\omega=f(h)$ (каналы, отдельные участки русел рек);

- *непризматические русла* – такие у которых форма и размеры поперечного сечения меняется вдоль потока, т.е. $\omega=f(h,L)$ (канал переменного сечения, русло реки). Здесь L – длина потока.

Таким образом для призматического русла имеем $d\omega/dL=0$ и $d\omega/dh=B$, где B – ширина призматического русла.

По уклону дна различают:

- *русла с прямым уклоном дна* ($i>0$) у которых падение реки совпадает с направлением потока;

- *русла с горизонтальным дном* ($i=0$);

- *русла с обратным уклоном дна* ($i<0$) у которых падение дна противоположно направлению течения.

Кроме того при неравномерном движении различают *нормальную* (h_0) и *критическую* (h_k) глубины.

Нормальной глубиной потока называется глубина, при которой данное русло пропустит данный расход воды в условиях равномерного движения. Очевидно, что при нормальной глубине имеем

$$Q = \omega_0 C_0 \sqrt{R_0 i} = K_0 \sqrt{I}, \quad (76)$$

где все элементы русла соответствуют нормальной глубине h_0 .

Также очевидно, что равномерное движение может иметь место только при прямом уклоне дна ($i>0$).

Прежде чем дать определение критической глубины рассмотрим вопрос об изменении удельной энергии сечения.

Вопросы для повторения:

1. Что называется неравномерным движением в открытом русле?
2. Что называется кривыми подпора и спада?
3. Что называется нормальной глубиной?
4. Что называется призматическим и непризматическим руслом?

Тема - 15. ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ

Решается основная задача неравномерного движения в открытом русле - расчет кривых свободной поверхности при прямом, обратном и горизонтальном русле. Приведены кривые поверхности при разных сочетаниях нормальной и критической глубин.

Основное уравнение неравномерного движения. Основная задача сволится к получению зависимости между глубиной потока в данном сечении и расстояния L от какого-то "начального" сечения (от плотины, перепада, гидроствора и т.п.).

Рассмотрим призматическое русло с прямым уклоном дна ($i>0$), находящиеся в условиях подпора (рис.5). Выберем два произвольных сечения 1-1 и 2-2, расположенных на весьма малом расстоянии ΔL . Пусть h_0 - нормальная глубина потока, h - переменная глубина при неравномерном движении, Δh - разность между глубинами потока в первом и втором сечениях.

Тогда уравнение неравномерного движения будет:

$$\Delta h / \Delta L = (i - \alpha Q^2 / K^2) / (1 - (Q^2 / g) * B / \omega^3)$$

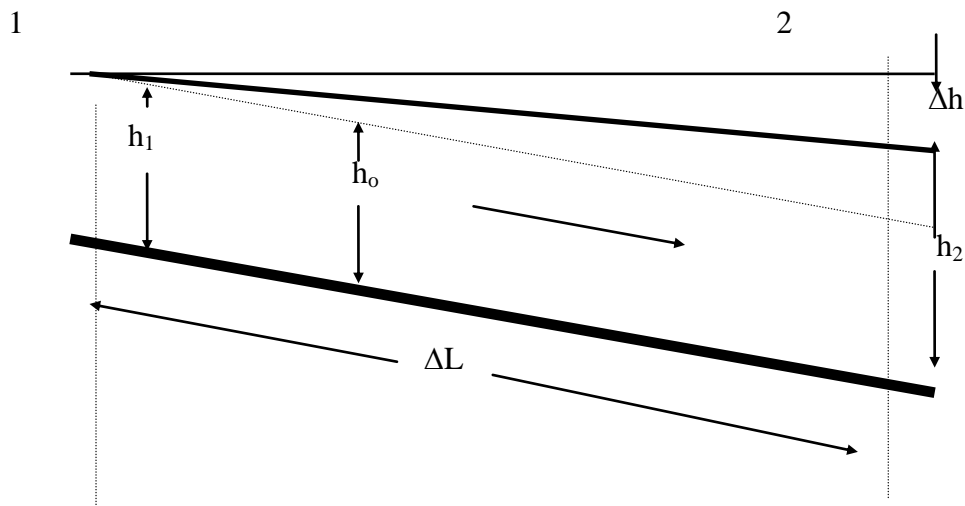


Рис. 21. Неравномерное движение в призматическом русле с прямым уклоном дна.

Очевидно, что при равномерном движении числитель равен нулю, т.к. $Q=K\sqrt{i}$ и $Q^2/K^2=i$. Кроме того напомним, что при глубине потока, равной критической имеем равенство $\omega^3/B=Q^2/g$. Обозначим для удобства $\omega^3/B=\Delta$. Тогда вводя дифференциал можем записать (23) в виде

$$dh/dL=i*(1-K_o^2/K^2)/(1-\Delta_k/\Delta), \quad (77)$$

где K_o и Δ_k соответствуют нормальной и критической глубинам. K и Δ соответствуют переменной глубине неравномерного движения.

Используя последнее выражение можно дать анализ изменений глубин в потоке в зависимости от уклонов русла.

Для удобства потоки в зависимости от соотношения глубин: собственно глубины потока при неравномерном движении (h), нормальной (h_o) и критической (h_k) делят на зоны а - с глубинами превышающими нормальную (h_o), зону b - когда глубины лежат в промежутке между нормальной (h_o) и критической глубинами (h_k) и зону с - глубины потока h меньше критической (h_k).

В табл.9 проводится анализ кривых свободной поверхности потоков в условиях, когда $i>0$ (прямое русло), $i=0$ (горизонтальное русло) и $i<0$ (русло с обратным уклоном дна).

Если водоток имеет горизонтальное дно $i=0$, то выражение (77) запишется в виде

$$dh/dL=(-Q^2/K^2)/(1-\Delta_k/\Delta) \quad (78)$$

В случае русла с обратным уклоном дна

$$dh/dL=(-i-Q^2/K^2)/(1-\Delta_k/\Delta). \quad (79)$$

Таблица 9

Исследование кривых свободной поверхности
при неравномерном движении воды в призматическом русле

Зона	Соотношение глубин	K	Δ	Числ.	Знам.	dh/dL	Тип кривой свободной поверхности
Русло с прямым уклоном дна ($i>0$) $i<i_{кр}$ ($h>h_o$)							
a	$h>h_o>h_{кр}$	$K>K_o$	$\Delta>\Delta_{кр}$	+	+	+	Кривая подпора а ₁
b	$h_o>h>h_{кр}$	$K<K_o$	$\Delta>\Delta_{кр}$	-	+	-	Кривая спада b ₁
c	$h_o>h_{кр}>h$	$K<K_o$	$\Delta<\Delta_{кр}$	-	-	+	Кривая подпора с ₁
$i=i_{кр}$ $h_o=h_{кр}$							
a	$h>h_o=h_{кр}$	$K>K_o$	$\Delta>\Delta_{кр}$	+	+	+	Кривая подпора а ₂
c	$h_o=h_{кр}>h$	$K<K_o$	$\Delta<\Delta_{кр}$	-	-	+	Кривая подпора с ₂
$i<i_{кр}$ $h_o<h_{кр}$							

a	$h > h_{кр} > h_0$	$K > K_0$	$\Delta > \Delta_{кр}$	+	+	+	Кривая подпора a_3
b	$h_{кр} > h > h_0$	$K > K_0$	$\Delta < \Delta_{кр}$	+	-	-	Кривая спада b_3
c	$h_{кр} > h_0 > h$	$K < K_0$	$\Delta < \Delta_{кр}$	-	-	+	Кривая подпора c_3
Русло с горизонтальным дном $i=0$ ($h_0 \rightarrow \infty$)							
b	$h > h_{кр}$	$K < K_0$	$\Delta > \Delta_{кр}$	-	+	-	Кривая спада b_0
c	$h < h_{кр}$	$K < K_0$	$\Delta < \Delta_{кр}$	-	-	+	Кривая подпора c_0
Русло с обратным уклоном дна $i < 0$ ($h_0 \rightarrow \infty$)							
b	$h > h_{кр}$	$K < K_0$	$\Delta > \Delta_{кр}$	-	+	-	Кривая спада b^1
c	$h < h_{кр}$	$K < K_0$	$\Delta < \Delta_{кр}$	-	-	+	Кривая подпора c^1

Вопросы для повторения:

1. Как определить вид кривой свободной поверхности?
2. Какие типы кривых свободной поверхности Вы знаете?
3. Как сопрягаются кривые свободной поверхности с линией нормальных глубин?
4. Как сопрягаются кривые свободной поверхности с линией критических глубин?

Тема -16. ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрены способы Н.Н.Павловского и В.И.Чарномского построения кривых свободной поверхности для русел с прямым уклоном дна. Основное внимание уделено построению кривых подпора. Дано решение основного уравнения неравномерного движения в упрощенном виде.

Построение кривых свободной поверхности. Построение кривых свободной поверхности при неравномерном движении весьма важно для целей гидротехнической практики. Чаще всего возникает задача построения кривых подпора и спада в руслах с прямым уклоном дна. Существуют достаточно много методов построения таких кривых свободной поверхности Б.А.Бахметева, Н.Н.Павловского, В.И.Чарномского, И.И.Агроскина и др.

Все способы основаны на интегральной форме уравнения неравномерного движения, в которых дается отношение весьма малого приращения глубин (dh) к весьма малому приращению длины потока dL . Интегрирование производят от начального сечения (плотина, гидроствор, водозабор и т.п.) до какого-то данного сечения, находящегося на расстоянии L от начального. В качестве примера приведем способ Н.Н.Павловского для прямого уклона дна призматического русла.

Решение основного уравнения дано в следующем виде:

$$iLa = \{ \chi_2 - \chi_1 - (1 - j_c) * [\Pi(\chi_2) - \Pi(\chi_1)] \},$$

где a - коэффициент, определяемый по формуле

$$a = (K_2 - K_1) / K_0 (h_2 - h_1),$$

K_1 , K_2 и K_0 - модули расходов при глубинах h_1 , h_2 и h_0 , j_c - коэффициент, рассчитываемый по формуле

$$j_c = (\alpha i C_c^2 / g) * (V_c / \chi_c),$$

где все величины C_c , χ_c и V_c - при средней глубине воды h_c

$$h_c = (h_1 - h_2) / 2.$$

Также

$$\chi_2 = K_2 / K_0 \text{ и } \chi_1 = K_1 / K_0$$

- относительные модули расхода, а $\Pi(\chi_1)$ и $\Pi(\chi_2)$ - так называемые функции Н.Н.Павловского, которые могут быть вычислены либо по таблицам, либо по формулам

$$\text{при } \chi > 1 \quad \Pi(\chi) = 1,151 * \lg(\chi + 1) / (\chi - 1)$$

$$\text{при } \chi < 1 \quad \Pi(\chi) = 1,151 * \lg(1 + \chi) / (1 - \chi).$$

При построении кривых свободной поверхности могут возникнуть три типа задач:

- определение длины кривой свободной поверхности между заданными сечениями (глубины h_1 и h_2), или определение полной длины кривой подпора или спада;
- построение кривой подпора или спада по заданной конечной глубине;
- определение глубины h_1 или h_2 , если задана одна из них и известно расстояние от данной глубины до неизвестной.

Построение кривых свободной поверхности способом В.И.Чарномского. Наиболее простой способ построения кривых подпора и спада при $i > 0$ - способ последовательного суммирования - Чарномского.

Весь поток разбивается на участки небольшой протяженности dL и для каждого из них вычисляется падение свободной поверхности dz или разность глубин $\Delta h = h_1 - h_2$.

Переходя от участка к участку можно построить всю кривую свободной поверхности.

Для призматических русел расчетное уравнение приведено к виду

$$\Delta h = (1 + \varepsilon) * (\alpha Q^2 / 2g) * (1/\omega_2^2 - 1/\omega_1^2) + \Delta L * ((Q^2 / K_c^2) - i),$$

или

$$\Delta L = (1 + \varepsilon) * (\alpha Q^2 / 2g) * (1/\omega_2^2 - 1/\omega_1^2) - (\Delta h),$$

где ε - коэффициент пропорциональности для кривых спада $\varepsilon = 0$, для кривых подпора $\varepsilon = 0,5$; ω_1 и ω_2 - площади сечений на концевых участках; (Δh) - разность глубин в сечениях (если кривая подпора, то величина (Δh) берется с минусом $(-\Delta h)$, если спада, то с плюсом $(+\Delta h)$), i - уклон на участке и K_c - средняя расходная характеристика

$$K_c = (K_1 + K_2) / 2.$$

Построение кривых подпора в естественных руслах. В практике чаще всего необходимо рассчитать кривую подпора при устройстве поперечных преград в руслах рек. Наиболее простой способ - последовательного суммирования.

Естественный поток разбивают на участки исходя из требований об однообразии уклонов на участке и постоянства живого сечения потока.

Также желательно, чтобы были выполнены условия постоянства расхода воды на участке и шероховатости русла.

В пределах каждого участка линия свободной поверхности принимается за прямую и средний уклон равен

$$i_c = \Delta z / \Delta L,$$

Δz - падение уровня воды на участке. Заметим, что ΔL измеряют либо по оси, либо по стрежню потока.

Рабочее уравнение имеет вид

$$\Delta z = z_n - z_k = Q^2 [(\alpha / 2g) * (1/\omega_k^2 - 1/\omega_n^2) + 1/K_c^2], \quad (80)$$

$$\text{где } K_c = \omega_c C_c \sqrt{R_c}. \quad (81)$$

Вопросы для повторения:

1. В чем заключается принцип последовательного суммирования при построении кривых подпора?
2. Какие основные допущения приняты для построения кривых свободной поверхности?
3. Какие задачи решаются при построении кривых свободной поверхности?

Тема - 22. ИСТЕЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ ВОДОСЛИВЫ

Дано определение водосливов и их классификация. Охарактеризованы основные параметры водосливов. Приведены случаи использования водосливов в инженерной практике. Рассмотрена форма сливной струи тонкостенного водослива.

Определение водосливов и их применение. *Водосливом называется перегородивающее поток сооружение, через которое происходит перелив воды.*

На практике водосливами являются - большие отверстия, возвышения дна потока, различные водоспуски, безнапорные трубы большого диаметра, шлюзы-регуляторы, мосты и другие сооружения и устройства.

Водосливы имеют повсеместное применение в гидротехнике и мелиорации, кроме того водосливы могут служить гидрометрическим прибором для измерения расхода воды.

Верхний край стенки водослива, через который переливается вода называется *ребром* или *порогом* водослива. Длину ребра водослива называют шириной его (b).

Превышение горизонта воды перед водосливом над его порогом называется *напором* (H).

Часть потока перед водосливом называют *верхним бьефом*, ниже водослива - *нижним бьефом*.

Обычно используются обозначения:

- V_0 - скорость перед водосливом (подхода);
- Z - разность уровней воды в верхнем и нижнем бьефах;
- r_1 - высота порога над дном со стороны верхнего бьефа;
- r - высота порога над дном со стороны нижнего бьефа;
- B - средняя ширина потока перед водосливом;
- h_6 ($h_{н.б.}$) - глубина воды в нижнем бьефе (бытовая глубина).

Классификация водосливов. Водосливы бывают разных типов. Выделяют следующие признаки водосливов:

- очертание профиля стенки;
- сопряжение падающей струи с нижним бьефом;
- наличие или отсутствие бокового сжатия;
- расположение порога водослива в плане;
- форма выреза в стенке водослива.

По профилю стенки различают:

- водосливы с тонкой стенкой (острым гребнем);
- водосливы практического профиля;
- водосливы с широким порогом.

По сопряжению с нижним бьефом различают:

- незатопленные водосливы, когда уровень нижнего бьефа ниже порога водослива;
- затопленные водосливы, когда уровень нижнего бьефа выше порога водослива.

По расположению водослива в плане различают:

- водосливы без бокового сжатия;
- водосливы с боковым сжатием.

По расположению водослива в плане относительно оси потока различают:

- прямые (нормальные) водосливы у которых плотина перпендикулярна оси потока;
- косые водосливы, у которых стенка водослива расположена под углом к оси потока;
- боковые водосливы, пороги которых расположен параллельно оси потока.

По форме выреза в стенке различают:

- прямоугольные водосливы;
- трапециевидные водосливы;
- треугольные водосливы.

Прежде чем дать вывод формулы для вычисления расхода воды через водослив, рассмотрим *форму сливной струи*. Каждая струйка при подходе к стенке водослива меняет свое направление. Особенно большое изменение наблюдается для нижних струй, которые меняют свое направление практически на противоположное. Верхние струи изменяют свое направление под действием сил тяжести.

По Базену падение струй начинается на расстоянии $3H$ от гребня водослива, где ордината струи равна $0,003H$, а у самого гребня - $0,15H$, т.е. толщина струи над гребнем $0,85H$. За счет сжатия нижних струй толщина струи уменьшается на уровне гребня толщина струи $0,435H$. В этом сечении наблюдается параллельноструйность. Нижняя поверхность сливной струи выше гребня водослива на $0,11H$. Наконец, струя опускается на уровень гребня на расстоянии $0,67H$ от внутренней поверхности стенки водослива.

Вопросы для повторения:

1. Что называется водосливом?
2. Что называется гребнем водослива?
3. Что называется напором над гребнем водослива?
4. Как меняются координаты сливной струи в зависимости от напора?
5. Чем обусловлено сжатие струи?

Тема - 23. ОСНОВНАЯ ФОРМУЛА ВОДОСЛИВА

Рассмотрены зависимости ширины сливной струи от напора и требуемого расхода воды для водослива с тонкой стенкой без бокового сжатия со свободным доступом воздуха под струю. Показан способ учета скорости подхода к стенке водослива. Дано определение коэффициента водослива.

Основная формула водослива. При расчете водосливов решается две задачи:

- определение величины давления на плотину и
- определение отверстия плотины, необходимого для пропуски данного расхода воды при заданном напоре.

Первая задача решается методами гидростатики. Вторая установлением зависимости между расходом воды, отверстием плотины и напором.

Для простоты выведем формулу расхода воды через незатопленный водослив с тонкой стенкой без бокового сжатия. Для определения используем формулу Вейсбаха для больших отверстий:

$$Q = 2/3 \mu b \sqrt{2g} (H_2^{3/2} - H_1^{3/2}),$$

где в случае водослива

$$H_1 = 0; H_2 = H,$$

тогда

$$Q = 2/3 \mu b \sqrt{2g} H^{3/2}, \tag{82}$$

Если учесть скорость подхода $V_o = \sqrt{2gh_o}$, где h_o - напор за счет скорости подхода, то обозначая через $H_o = H + h_o$ получим

$$Q = 2/3 \mu b \sqrt{2g} [(H + h_o)^{3/2} - h_o^{3/2}], \tag{83}$$

или

$$Q = 2/3 \mu b \sqrt{2g} H_o^{3/2} [1 - (h_o/H_o)^{3/2}]. \tag{84}$$

Если пренебречь весьма малой величиной $(h_0/H_0)^{3/2}$, равной, к примеру, при $H=1$ м и $V_0=2$ м/с - 0,07 м, т.е. 7 см и обозначив через m $2/3\mu$, запишем

$$Q=mb\sqrt{2g*H_0^{3/2}} \quad (85)$$

Это основная формула водослива. Коэффициент m называют *коэффициентом водослива*. Иногда в расчеты вводят коэффициент водослива равный $M=m\sqrt{2g}$, тогда

$$Q=Mb\sqrt{2g*H_0^{3/2}}. \quad (86)$$

Вопросы для повторения:

1. В чем заключается расчет водослива?
2. Чем отличается сечение струи на уровне гребня водослива?
3. Что называется коэффициентом водослива?

Тема - 24. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВОДОСЛИВА

Исследованы основные факторы, определяющие величину коэффициента водослива. Даны наиболее часто употребляемые расчетные формулы для вычисления коэффициента водослива.

Основные формулы для вычисления коэффициента водослива. Как показывает практика на величину расхода воды через водослив оказывают влияние довольно больше число факторов, которые выше охарактеризованы как признаки водосливов. Поэтому правильнее производить учет условий истечения струи через водослив через величину коэффициента расхода.

Наибольшее распространение получила формула Базена

$$m=(0,405+0,0027/H)*[1+0,55*(H/(H+p_1)^2)]. \quad (87)$$

Считается, что первый сомножитель учитывает влияние напора над гребнем водослива, второй - скорость подхода.

Формула Ребока

$$m=0,403+0,053(H/p_1) +0,0007/H \quad (88)$$

Формула Р.Р.Чугаева

$$m=0,402 +0,054(H/p_1) \quad (89)$$

Формула Швейцарских инженеров

$$m=0,410*(1+1/(1000H+1,6)*[1+0,5*(h/(H+p_1)^2)]). \quad (90)$$

Существует также еще одна формула Ребока, которая несколько отличается от предыдущей формулы

$$Q=(1,782+0,24*(H_e/p_1)*b*H_e^{3/2}) \quad (91)$$

где H_e - условный напор равный $H+0,0011$ м.

Все эти формулы применяются для незатопленных водосливов без бокового сжатия со свободным доступом воздуха под сливную струю.

Вопросы для повторения:

1. Для каких условий применяются основные формулы коэффициента водослива?
2. Какие основные параметры входят в формулы коэффициента водослива?
3. В чем главное отличие второй формулы Ребока от остальных формул?

Тема -25. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КОЭФФИЦИЕНТ ВОДОСЛИВА.

Практика эксплуатации водосливов в гидротехнике и ирригации определяет учет влияния основных факторов на коэффициент водослива и, следовательно на расход воды через водослив. Рассмотрены основные из этих факторов: наклон стенки водослива, сжатие струи, затопление гребня водослива, очертание плотины в плане и т.п.

В зависимости от местных условий на коэффициент водослива влияют следующие основные факторы:

- наклон стенки (верховой откос);
- наклон боковых стенок;
- толщина стенки;
- боковое сжатие струи;
- глубина воды перед плотиной;
- напор;
- затопление гребня водослива;
- вакуум под струей;
- очертание плотины в плане.

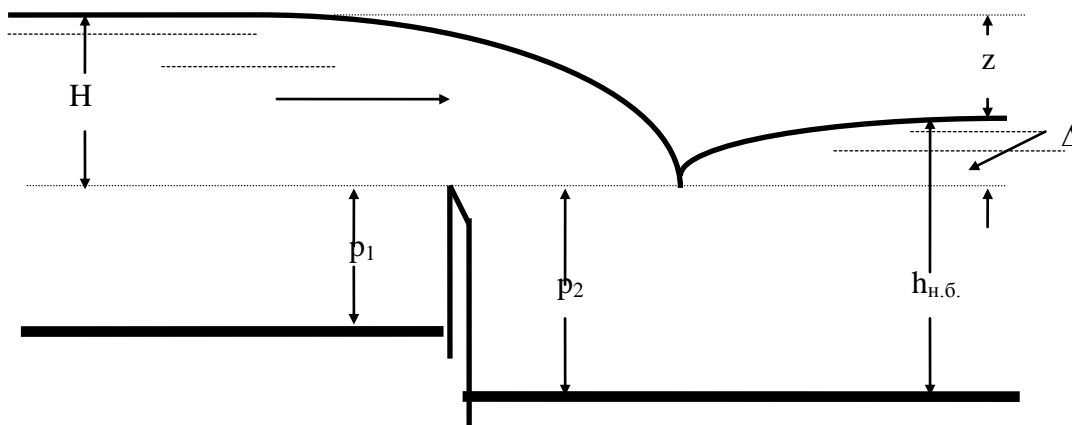


Рис. 23 Затопленный водослив с тонкой стенкой

Подтопленный (затопленный) водослив с тонкой стенкой. Водослив считается *подтопленным* если - уровень нижнего бьефа выше ребра водослива и - *относительный перепад* $Z/p < 0,7$.

Тогда вводится коэффициент подтопления, вычисляемый по формуле

$$\sigma_{п} = 1,05 * (1 + 0,2(\Delta/p))^3 * \sqrt{Z/H}, \quad (92)$$

где Δ - превышение уровня воды в нижнем бьефе над гребнем водослива.

Боковое сжатие водослива. Если ширина водосливного отверстия меньше ширины подводящего русла ($b < B$), то струя претерпевает сжатие и расход воды становится меньше, чем при истечении без бокового сжатия.

Формула коэффициента водослива с боковым сжатием (m_c) имеет вид

$$M_c = [0,405 + (0,027/H) - 0,03(B-b)/B] * [1 + 0,55(b/B)^2 * H/(H+p_1)^2] \quad (93)$$

Это формула для однопролетных плотин.

Для многопролетных плотин учет бокового сжатия проще всего сделать вычислив ширину сжатого отверстия

$$bc = b - 0,1 * n * \xi * H_0, \quad (94)$$

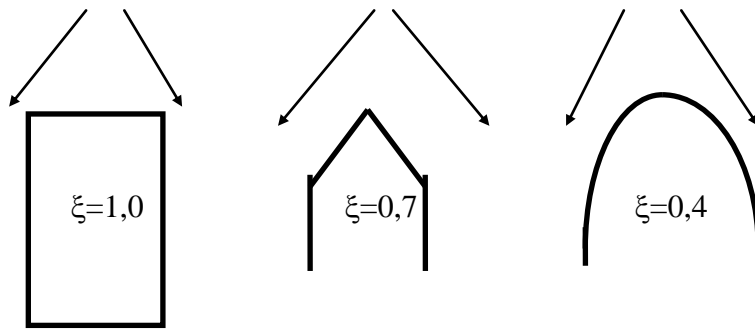


Рис. 24 Коэффициенты формы опор и быков

где b_c – сжатое отверстие плотины, n – число сжатий, ξ - коэффициент формы опор и быков по Кригеру (рис.24)

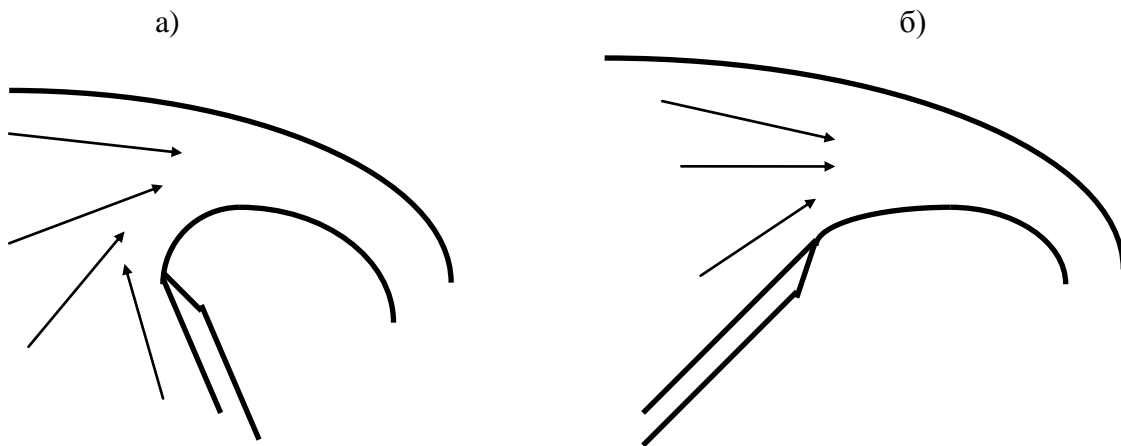


Рис. 25 Влияние наклона стенок на коэффициент водослива

Влияние наклона стенки водослива на коэффициент водослива. Мы рассматривали истечение через водослив с вертикальной стенкой. Могут быть два случая наклонных стенок – в направлении движения струй (рис. 25 б) и в наклон в обратном направлению движения (рис. 25 а) очевидно, что в первом случае коэффициент водослива больше, т.к. наблюдается меньшее сжатие струй.

По Базену при наклоне стенки в сторону движения жидкости расход воды возрастает до 1,13. При обратном наклоне стенки коэффициент расхода уменьшается и, к примеру, при наклоне в 45° составляет – 0,93.

Влияние наклона боковых стенок на коэффициент водослива. Этот фактор учитывается при расчете истечения через треугольный и трапецидальный водосливы. Треугольный водослив часто называют водосливом Томпсона и для этого водослива выведена формула

$$Q=4/15\mu b\sqrt{2g} * H^{3/2}.$$

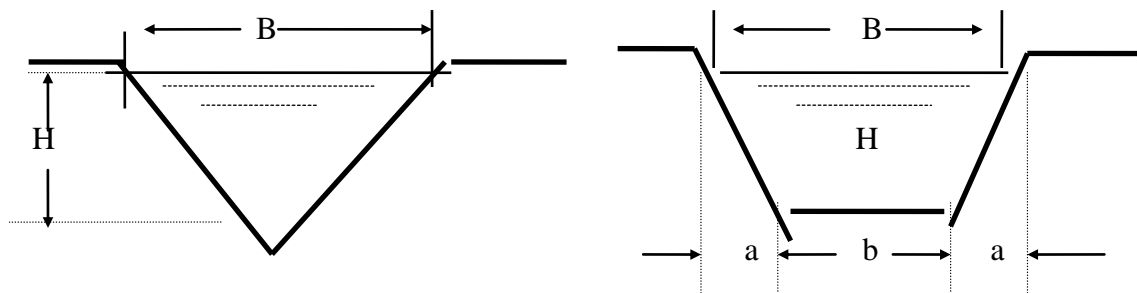


Рис.26. Схема треугольного и трапецидального водосливов

Если угол выреза равен 90° , то формула приобретает вид

$$Q=1,4H^{5/2}. \quad (95)$$

При расчете расхода воды через трапецеидальный водослив часто пользуются формулой Чиполетти, который рассматривал его как совокупность прямоугольного и треугольного водосливов

$$Q=1,865bH^{3/2}. \quad (96)$$

Влияние глубины воды перед плотиной на коэффициент водослива. Этот фактор учел Базен в формуле (32), где с увеличением p_1 уменьшается коэффициент водослива за счет сжатия струи с низовой стороны.

Влияние напора на коэффициент водослива. Коэффициент водослива (но не расход воды) уменьшается при увеличении напора. Это объясняется большей турбулентностью потока и большим сжатием сливной струи.

Влияние вакуума под струей на коэффициент водослива. Все предыдущие формулы выведены теоретически или на основании опытов для струй со свободным доступом воздуха под нее. Аналогично насадкам под струей может образовываться вакуум, что влечет понижение давления под струей и

- повышение уровня воды под струей или
- прижатие струи к стенке водослива.

По Базену в зависимости от рода струи коэффициент расхода, а следовательно и расход воды может увеличиться (табл.10).

Таблица 10

Зависимость коэффициента водослива от характера сливной струи

Род струи	Свободная	Отжатая	Подтопленная	Прилипшая
m	0,428	0,460	0,497	0,547

Влияние профиля стенки на коэффициент водослива. В гидротехнической практике профиль плотины стараются приблизить к форме стекающей струи. Такие плотины называются водосливами *практического профиля*.

В принципе стараются избежать точного повторения профиля струи, т.к. из-за случайных причин может наблюдаться изменение уровня воды в верхнем бьефе и, естественно напор, что может привести к отслаиванию струи от поверхности водослива и образования в этих местах вакуума.

Н.Н.Павловский дал ряд формул для таких водосливов, разделяя их на *высокие, средние и низкие профили*.

Для высоких профилей

$$m=0,49*(0,785+0,25(H/H_{max}) \quad \text{при } 0,1 < H/H_{max} < 0,8, \quad (97)$$

и

$$m=0,49*(0,88+0,12\sqrt{H/H_{max}} \quad \text{при } H/H_{max} > 0,8. \quad (98)$$

H_{max} - наибольший возможный напор, на который проектируется плотина, H - расчетный напор, обеспечивающий необходимый расход Q .

Для средних и низких профилей Н.Н.Павловским предложены таблицы коэффициентов водосливов в зависимости от угла наклона откосов плотин. Для ориентировочных расчетов можно принимать в среднем $m=0,45$.

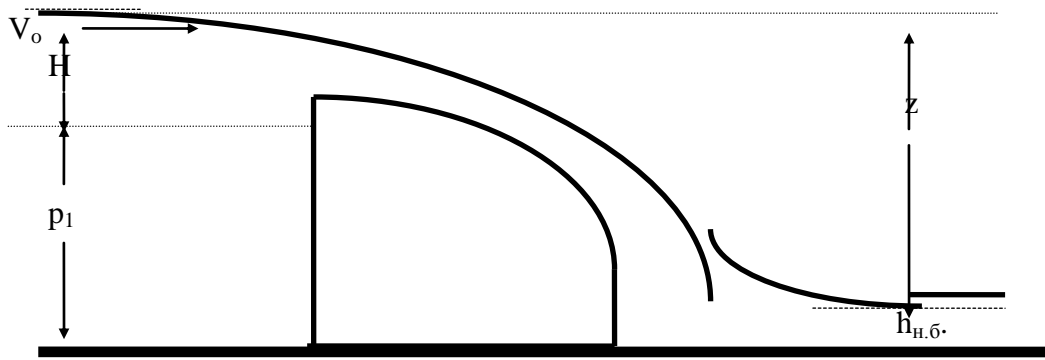


Рис.27. Схема водослива практического профиля

Влияние очертания плотины в плане на коэффициент водослива. Очертание плотины в плане существенно влияет на коэффициент водослива. Так косина плотины в плане уменьшает пропускную способность водослива (табл.11).

Влияние кривизны плотины в плане изучена несколько меньше. Кривизну плотины можно учесть при помощи, так называемого *коэффициента кривизны*

Таблица 11

Значения коэффициентов уменьшения расхода воды
через водослив в зависимости от косины плотины в плане

Угол косины, θ°	0	15	30	45	60	90
Коэффициент уменьшения расхода, δ	0,80	0,86	0,91	0,94	0,96	1,00

Влияние кривизны плотины в плане изучена несколько меньше. Кривизну плотины можно учесть при помощи, так называемого *коэффициента кривизны*

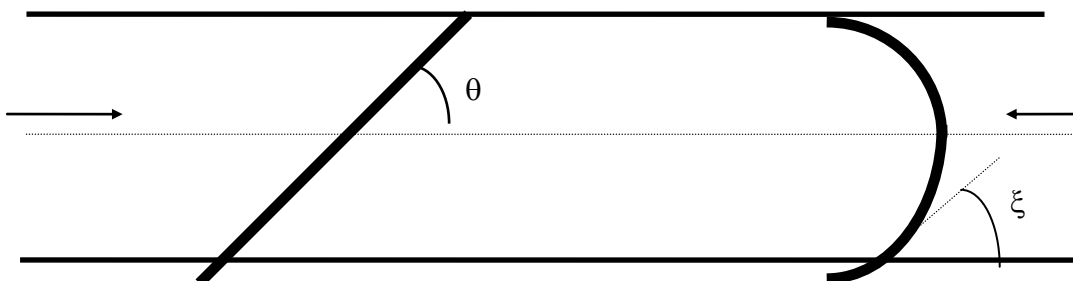


Рис. 28. Схема влияния косины и кривизны плотины в плане

$$\psi = 1 - H/p1 * \rho,$$

где ψ - поправочный коэффициент кривизны, ρ - коэффициент, зависящий от угла (ξ), образуемого касательной к оси плотины и линии берега (табл.12).

Таблица 12

Значения коэффициента ρ при кривизне плотины

$\xi, ^\circ$	15	30	45	60	75	90
ρ - широкий канал	1,4	2,8	5,0	9,1	26,3	∞
ρ - узкий канал	1,2	2,1	3,6	7,7	26,3	∞

Водослив с широким порогом. В числе факторов, влияющих на истечение через водослив особое значение придается толщине (протяженности) стенки водослива на

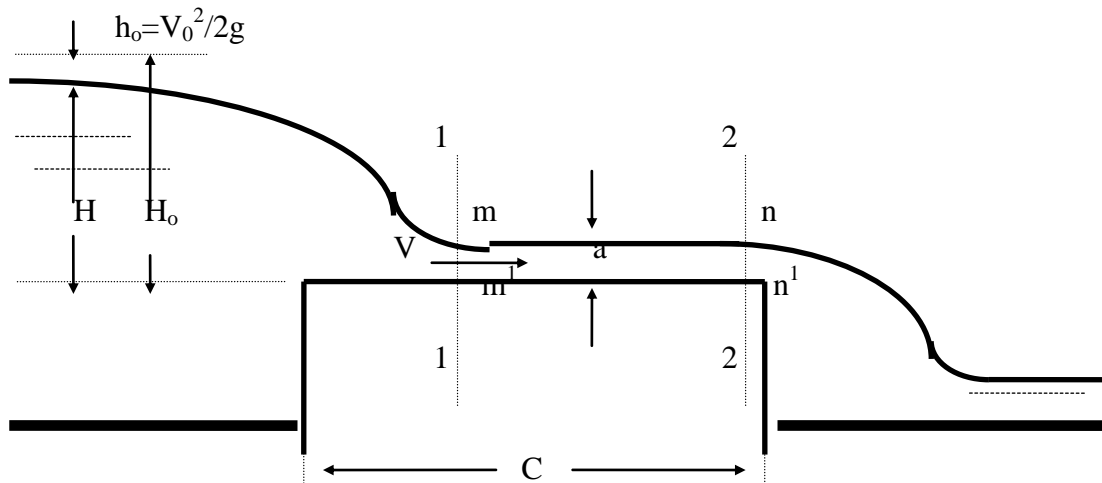


Рис. 29. Схема водослива с широким порогом

коэффициент его. Напомним, что не всякий водослив считается водосливом с широким порогом. Так как ранее отмечалось, что нижняя поверхность сливной струи опускается на высоту гребня водослива на расстоянии $0,67H$ от внутренней поверхности стенки, то водосливом с широким порогом будет называться водослив для которого выполняется условие - $H < C/3$, где C - толщина стенки водослива (рис.29).

Водослив с широким порогом обладает четырьмя характерными для него свойствами:

- поверхность воды над порогом хотя бы на небольшом пространстве горизонтальна ($mn \parallel m^1n^1$);

- толщина воды, в том месте, где поверхность горизонтальная составляет $a \approx 2H_0/3$;

- средняя скорость воды в том месте, где поверхность горизонтальна равна $V = \sqrt{ga}$;

- коэффициент водослива с широким порогом меньше аналогичных коэффициентов при сходных условиях. Для ориентировочных расчетов его можно принять равным - 0,34.

Вопросы для повторения:

1. Что называется затопленным водосливом?
2. Как влияет на коэффициент водослива напор и глубина воды перед плотиной?
3. Как учитывается боковое сжатие струи для однопролетных и многопролетных плотин?
4. Как влияет косина плотины в плане на коэффициент водослива и что называется боковым водосливом?
5. Как выполняется поверхность водослива практического профиля?
6. Что называется водосливом с широким порогом и какие его свойства?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. При какой температуре наибольший объемный вес воды?
 - А. 0°C
 - В. 4°C
 - С. 20°C
 - Д. 50°C
 - Е. 100°C
2. Сколько весит $0,7 \text{ м}^3$ морской воды?
 - А. 7 тонн
 - В. 10 тонн
 - С. 7,18 тонн
 - Д. 0,72 тонны
 - Е. 700 кг
3. Выберите формулу для вычисления избыточного давления жидкости
 - А. $p=p_o+\gamma h$
 - В. $p=p_o-p_a$
 - С. $p=\gamma h$
 - Д. $p=p_o$
 - Е. $p=p_a$
3. Какую форму имеет эпюра давления жидкости на плоскую стенку при давлении жидкости с двух сторон?
 - А. Треугольника
 - В. Прямоугольника
 - С. Трапеции
 - Д. Прямоугольного треугольника
 - Е. Прямоугольной трапеции
4. Сила давления столба нефти глубиной 2 м в нефтехранилище на дно его диаметром 3 м равна ($\gamma_{\text{нефти}} = 0,8 \text{ т/м}^3$)
 - А. 4,8 тонны
 - В. 2,4 тонны
 - С. 11,3 тонны
 - Д. 5,5 тонны
 - Е. 10,5 тонны
5. Основное условие плавания тел
 - А. $P=G$
 - Б. $P>G$
 - С. $P<G$
 - Д. $P\neq G$
 - Е. $P\cong G$

6. Сколько максимально можно поместить песка (м^3) в баржу ($\gamma_{\text{песка}}=1,8 \text{ т/м}^3$), если борта ее выше поверхности воды на 40 см, а длина баржи 3,5 и ширина 2 м?

- А. Около 1 тонны
- В. Около 5 тонн
- С. Около 10 тонн
- Д. 100 кг
- Е. Около 2 тонн

7. Идеальная жидкость

- А. Абсолютно легкоподвижна
- В. Абсолютно прозрачна
- С. Абсолютно бесцветна
- Д. Без запаха
- Е. Не электропроводна

8. Давление жидкости это

- А. Ее вес
- В. Отношение веса к площади
- С. Отношение веса к объему жидкости
- Д. Отношение веса к температуре жидкости
- Е. Отношение веса к глубине

9. Выберите вариант уравнения Д.Бернулли для реальной жидкости в открытом потоке

А. $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_w$

В. $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2$

С. $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + z_2 + h_w$

Д. $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + h_w$

Е. $\frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_w$

10. Выберите формулу для вычисления гидравлического уклона в горизонтальной трубе

А. $i = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{L}$

$$\cdot \text{В. } i = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + h_w\right)}{L}$$

$$\text{С. } i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{L}$$

$$\text{Д. } i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_w\right)}{L}$$

$$\text{Е. } i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + z_2\right)}{L}$$

11. От чего не зависит потеря энергии в потоке жидкости?

- А. От скорости потока
- В. От минерализации жидкости
- С. От шероховатости стенок потока
- Д. От вязкости жидкости
- Е. От режима движения жидкости

12. Гидравлический радиус это

- А. Отношение площади сечения потока к ширине его
- В. Отношение площади сечения потока к смоченному периметру
- С. Отношение глубины потока к его ширине
- Д. Отношение ширины потока к глубине
- Е. Отношение площади сечения потока к глубине

13. Какой вид движения жидкости в канале с постоянным сечением и уклоном?

- А. Неравномерное
- В. Спокойное
- С. Бурное
- Д. Равномерное
- Е. Напорное

14. Какую размерность имеет коэффициент “С” Шези?

- А. Безразмерен
- В. $\text{м}^{1/2}/\text{с}$
- С. $\text{м}/\text{с}$
- Д. $\text{м}^2/\text{с}$
- Е. $\text{м}^3/\text{с}$

15. В какой формуле для вычисления коэффициента “С” Шези переменный показатель степени?
- А. Н.Н.Павловского
 - В. Маннинга
 - С. Форхеймера
 - Д. Агроскина
 - Е. Базена
16. Чья формула коэффициента “С” Шези учитывает влияние уклона?
- А. Маннинга
 - В. Базена
 - С. Гангилье-Куттера
 - Д. Павловского
 - Е. Форхеймера
17. Какая из формул коэффициента «С» Шези использует значение абсолютной шероховатости?
- А. Маннинга
 - В. Базена
 - С. Гангилье-Куттера
 - Д. Павловского
 - Е. Форхеймера
18. Чему равен гидравлический радиус трапецеидального канала наивыгоднейшего профиля?
- А. $R=h$
 - В. $R=2h$
 - С. $R=h/2$
 - Д. $R=h/3$
 - Е. $R=3h$
19. От чего зависит минимальная незаилающая скорость для каналов по формуле Кеннеди?
- А. От уклона водотока
 - В. От глубины
 - С. От шероховатости
 - Д. От ширины потока
 - Е. От длины потока
20. Гидравлический уклон в трубопроводе согласно Дарси пропорционален диаметру трубопровода
- А. В первой степени
 - В. Во второй степени
 - С. В третьей степени

- Д. В четвертой степени
- Е. В пятой степени

21. Для какого случая коэффициент расхода равен 0,82?

- А. Для истечения через круглое отверстие
- В. Для истечения через насадок Вентури
- С. Для истечения через насадок Борда
- Д. Для истечения через насадок Эйтельвейна
- Е. Для истечения через коноидальный насадок

22. Как соотносятся между собой время опорожнения водохранилища при постоянном и переменном напоре?

- А. Время истечения одинаковое
- В. При постоянном напоре меньше в два раза
- С. При постоянном напоре меньше в три раза
- Д. При постоянном напоре больше в два раза
- Е. При постоянном напоре больше в три раза

23. Где наблюдается наибольшая скорость истечения?

- А. При истечении через насадок Борда
- В. При истечении через насадок Вентури
- С. При истечении через конически расходящийся насадок
- Д. При истечении через малое круглое отверстие
- Е. При истечении через насадок Эйтельвейна

24. Что учитывает формула Томпсона для водосливов с треугольным вырезом?

- А. Наклон стенки (верховой откос)
- В. Наклон боковых стенок
- С. Толщину стенки
- Д. Глубину воды перед плотиной
- Е. Очертание плотины

25. Какого свойства нет у водосливов с широки порогом?

- А. Удар струи о поверхность водослива
- В. Горизонтальность поверхности струи над порогом
- С. Наибольшее из всех водосливов значение расхода воды
- Д. Зависимость скорости над порогом от глубины воды
- Е. Наименьшее из всех водосливов значение расхода воды

26. Какое из русел правильной геометрической формы может быть не призматическим?

- А. Прямоугольное
- В. Трапециoidalное

- С. Треугольное
- Д. Круговое
- Е. Параболическое

27. К какому типу кривых свободной поверхности относится кривая при $h_k > h_o > h$?

- А. Подпора типа C_I
- В. Подпора типа a_{II}
- С. Спада типа b_I
- Д. Спада типа b_o
- Е. Подпора типа C_{II}

28. К какому типу кривых свободной поверхности относится кривая при $h_o > h_k > h$?

- А. Подпора типа a_I
- В. Спада типа b_I
- С. Подпора типа C_I
- Д. Спада типа b_{III}
- Е. Подпора типа C_o

29. Какой кривой свободной поверхности не может быть при горизонтальном русле и при русле с обратным уклоном?

- А. Подпора c_o
- В. Подпора c'
- С. Подпора a_o
- Д. Спада b_o
- Е. Спада b'

30. Как меняется глубина воды при гидравлическом прыжке?

- А. Увеличивается
- В. Уменьшается
- С. Остается постоянной
- Д. Поверхность воды волнообразна
- Е. Меняется произвольно

31. Как меняется удельная энергия сечения русла с ростом глубины при неравномерном движении?

- А. Возрастает
- В. Убывает
- С. Остается постоянной
- Д. Сначала убывает, а затем возрастает
- Е. Сначала возрастает, а затем убывает

32. Какая правильная формула для вычисления модуля сопротивления?

- А. $F=\Delta/Q^2$
- В. $F=\Delta/Q$
- С. $F=\Delta^2/Q$
- Д. $F=\Delta^2/Q^2$
- Е. $F=Q^2/\Delta$

33. Выберите правильный вид прыжковой функции

- А. $\frac{Q^2}{g\omega_1} + y_1\omega_1 = \frac{Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2$
- В. $\frac{Q}{g\omega_1} + y_1\omega_1 = \frac{Q}{g\omega_2} + y_2\omega_2$
- С. $\frac{Q^2}{g\omega_1^2} + y_1\omega_1 = \frac{Q^2}{g\omega_2^2} + y_2\omega_2$
- Д. $\frac{Q^2}{g\omega_1} + y_1\omega_1^2 = \frac{Q^2}{g\omega_2} + y_2\omega_2^2$
- Е. Все формулы неправильные

34. Бурные потоки наблюдаются при

- А. $h>h_k$
- В. $h<h_k$
- С. $h=h_k$
- Д. $h\rightarrow h_k$
- Е. $h\cong h_k$

35. Затопленный прыжок бывает при

- А. $h_2>h_{нб}$
- В. $h_2<h_{нб}$
- С. $h_2=h_{нб}$
- Д. $h_2\cong h_{нб}$
- Е. $h_1>h_{нб}$

36. Оттогнанный гидравлический прыжок бывает при

- А. $h_2>h_{нб}$
- В. $h_2<h_{нб}$
- С. $h_2=h_{нб}$
- Д. $h_2\cong h_{нб}$
- Е. $h_1>h_{нб}$

37. Число сжатий струи при трехпролетном мостовом переходе равно

- А. Двум
- В. Трем
- С. Четырем

- Д. Шести
- Е. Пяти

38. Наибольшее значение коэффициента водослива для

- А. Водослива с широким порогом
- В. Водослива с тонкой стенкой
- С. Водослива практического профиля
- Д. Затопленного водослива
- Е. Водослива с толстой стенкой

39. Надвинутый гидравлический прыжок образуется при

- А. $h_c'' = h_{нб}$
- В. $h_c'' > h_{нб}$
- С. $h_c'' < h_{нб}$
- Д. $h_c'' \cong h_{нб}$
- Е. $h_c' > h_{нб}$

40. Сколько типов кривых свободной поверхности существует для русел с $i > 0$?

- А. Шесть
- В. Четыре
- С. Восемь
- Д. Две
- Е. Десять

41. Сколько типов кривых свободной поверхности существует для русел с горизонтальным дном?

- А. Шесть
- В. Две
- С. Четыре
- Д. Восемь
- Е. Десять

42. Сколько типов кривых свободной поверхности существует для русел с обратным уклоном дна?

- А. Шесть
- В. Две
- С. Четыре
- Д. Восемь
- Е. Десять

43. Критическая глубина это

- А. Глубина при которой удельная энергия сечения минимальна
- В. Глубина при которой удельная энергия сечения максимальна
- С. Глубина при которой удельная энергия сечения равна нулю

- Д. Глубина при которой удельная кинетическая энергия сечения равна 0
Е. Глубина при которой удельная потенциальная энергия сечения равна 0

44. Выберите правильное равенство при критической глубине

·А. $\frac{\omega^3}{b} = \frac{Q^2}{g}$

В $\frac{\omega^3}{b} = \frac{Q^2}{2g}$

С. $\frac{\omega^3}{b^3} = \frac{Q^2}{g}$

Д. $\frac{\omega^3}{b} = \frac{Q}{g}$

Е. $\frac{\omega^3}{b^3} = \frac{Q}{g}$

45. Выберите правильный вид формулы для расчета скоростного напора

А. $\frac{v^2}{g}$

·В. $\frac{v^2}{2g}$

С. $\frac{v}{g}$

Д. $\frac{v^2}{g^2}$

Е. Нет правильной формулы

46. Коэффициент водослива с ростом высоты стенки водослива

·А. Уменьшается

В. Увеличивается

С. Остается постоянным

Д. Сначала увеличивается, а затем уменьшается

Е. Сначала уменьшается, а затем увеличивается

47. Переход от ламинарного движения трубах к турбулентному и наоборот происходит при

А. $Re > 2300$

В. $Re < 2300$

·С. $Re = 2300$

Д. $Re = 550$

Е. $Re < 550$

48. При гидравлическом ударе в трубопроводах скорость потока

А. Остается постоянной

- В. Резко падает
- С. Резко увеличивается
- Д. Меняется произвольно
- Е. Нет правильного ответа

49. Пьезометрическая линия в трубопроводе по длине потока

- А. Возрастает
- В. Падает
- С. Остается постоянной
- Д. Сначала возрастает, а потом падает
- Е. Сначала падает, а потом растет

50. Наивыгоднейшей формой канала является

- А. Канал с наибольшей глубиной
- В. Канал с наибольшей шириной
- С. Канал с наибольшим смоченным периметром
- Д. Канал с наименьшим смоченным периметром
- Е. Нет правильного ответа

51. Каким из перечисленных ниже свойств жидкости не обладают?

- А. Текучесть
- В. Вязкость
- С. Сжимаемость
- Д. Поверхностное натяжение
- Е. Температурное расширение

52. Какой из процессов нарушения сплошности потока не наблюдается в реках и каналах?

- А. Образование кристаллов льда
- В. Кипение
- С. Кавитация
- Д. Аэрация потока
- Е. Транспорт наносов

53. По какой из формул рассчитывается избыточное давление жидкости?

- А. $p = p_o + \lambda h$
- В. $p = \gamma h$
- С. $p = p_A - p_o$
- Д. $p = p_A + p_o$
- Е. $p = p_A + \gamma h$

54. Какую форму имеет эпюра избыточного давления жидкости на плоские вертикальные стенки при одностороннем давлении жидкости?

- А. Прямоугольник
- В. Трапеция

- С. Равносторонний треугольник
- Д. Квадрат
- Е. Прямоугольный треугольник

55. Какую форму имеет эпюра избыточного давления на плоскую наклонную стенку при давлении жидкости с двух сторон?

- А. Прямоугольная трапеция
- В. Равносторонний треугольник
- С. Прямоугольник
- Д. Квадрат
- Е. Прямоугольный треугольник

56. Выберите формулу для вычисления гидравлического уклона в наклонной трубе (идеальная жидкость)

·А.
$$i = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{L}$$

В.
$$i = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + h_w\right)}{L}$$

С.
$$i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{L}$$

Д.
$$i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_w\right)}{L}$$

Е.
$$i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + z_2\right)}{L}$$

57. Выберите формулу для вычисления гидравлического уклона в наклонной трубе (реальная жидкость)

А.
$$i = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{L}$$

· В.
$$i = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_w\right)}{L}$$

С.
$$i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{L}$$

$$\text{Д. } i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_\omega\right)}{L}$$

$$\text{Е. } i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + z_2\right)}{L}$$

58. Выберите формулу для вычисления гидравлического уклона при равномерном движении в открытом потоке (реальная жидкость)

$$\text{А. } i = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{L}$$

$$\cdot \text{В. } i = \frac{z_1 - (z_2 + h_\omega)}{L}$$

$$\text{С. } i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{L}$$

$$\text{Д. } i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_\omega\right)}{L}$$

$$\text{Е. } i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + z_2\right)}{L}$$

58. Выберите формулу для вычисления гидравлического уклона при равномерном движении в открытом потоке (идеальная жидкость)

$$\text{А. } i = \frac{\left(\frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{L}$$

$$\cdot \text{В. } i = \frac{z_1 - z_2}{L}$$

$$\text{С. } i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2\right)}{L}$$

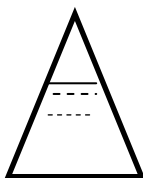
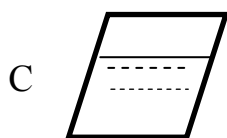
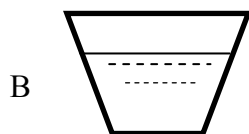
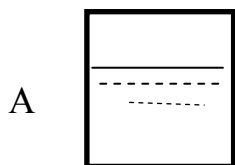
$$\text{Д. } i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_\omega\right)}{L}$$

$$\text{Е. } i = \frac{\left(\frac{v_1^2}{2g} + z_1\right) - \left(\frac{v_2^2}{2g} + z_2\right)}{L}$$

59. В каком случае пьезометрическая линия параллельна напорной линии?

- А. При равномерном движении в трубе
- В. При равномерном движении в открытом потоке
- С. При неравномерном движении в трубе
- Д. При равномерном движении в открытом потоке
- Е. Всегда параллельна

60. В каком случае давление на дно сосуда будет наибольшим? Глубина воды и площадь дна сосудов одинаковы.



- Е. Давление на дно сосудов одинаково

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Вопросы для первого промежуточного контроля.

1. Основные свойства жидкостей
2. Гидростатическое давление и его свойства
3. Полное, избыточное и манометрическое давление
4. Приведенная и пьезометрическая высоты
5. Вакуум
6. Понятие о гидростатическом напоре
7. Сообщающиеся сосуды
8. Давление жидкости на плоские стенки
9. Размещение ригелей в щитах
10. Давление жидкости на цилиндрические поверхности
11. Плавание тел. Закон Архимеда
12. Условия плавания и остойчивость плавающих тел
13. Основные элементы движущейся жидкости
14. Виды движения жидкости
15. Уравнение неразрывности для струйки и потока
16. Уравнение Бернулли для элементарной струйки
17. Уравнение Бернулли для потока (идеальной и реальной жидкости)
18. Принцип Вентури
19. Гидравлические сопротивления и потери напора
20. Два режима движения жидкости. Опыты Рейнольдса
21. Формула Стокса
22. Формула Пуазейля
23. Истечение жидкости через малое отверстие в тонкой стенке
24. Истечение жидкости через большие отверстия
25. Истечение жидкости при переменном напоре
26. Истечение жидкости через насадки
27. Расчет простых трубопроводов
28. Расчет самотечной трубы
29. Расчет сифона
30. Расчет дюкера
31. Диаграмма Бернулли для трубопровода
32. Гидравлический удар в трубопроводе

Вопросы второго промежуточного контроля.

1. Равномерное движение в открытых руслах. Формула Шези
2. Коэффициент «С» в формуле Шези
3. Наивыгоднейшее сечение каналов
4. Расчет каналов
5. Естественные русла
6. Водосливы, типы водосливов
7. Основная формула водослива
8. Коэффициент водослива
9. Влияние скорости подхода
10. Влияние напора и высоты стенки водослива
11. Влияние бокового сжатия
12. Влияние толщины стенки водослива
13. Водосливы практического профиля
14. Водослив с широким порогом
15. Неравномерное движение в открытом русле
16. Призматические и непризматические русла
17. Удельная энергия потока и сечения. Критическая глубина
18. Основное уравнение неравномерного движения
19. Типы кривых свободной поверхности
20. Расчет кривых подпора при прямом уклоне русла
21. Гидравлический прыжок, Основное уравнение прыжка
22. Определение взаимных глубин прыжка. Потери энергии в прыжке

Вопросы итогового контроля

Легкие вопросы

1. Что называется жидкостью. В чем отличие жидкостей от газов и твердых тел?
2. Что называется объемным весом жидкости, его размерность, от чего он зависит?
3. Как меняется объемный вес жидкости при изменении температуры?
4. Что называется плотностью жидкости? Размерность плотности.
5. Что называется вязкостью жидкости? В каких единицах измеряется вязкость?
6. Какие приборы применяются для измерения вязкости жидкостей.
7. Что называется “идеальной” жидкостью и ее свойства.
8. Что называется гидростатическим давлением? Размерность давления.
9. Какие основные свойства гидростатического давления?
10. Что называется полным, избыточным и манометрическим давлением?
11. Что называется гидростатическим и пьезометрическим напором?
12. Какие приборы применяются для измерения давления?
13. Что называется вакуумом?
14. Что называется центром тяжести и центром давления?

15. Как формулируется закон Архимеда?
16. Что называется водоизмещением, осадкой и ватерлинией плавающего тела?
17. Каковы условия для равновесного плавания тел?
18. Что такое траектория, линия тока, элементарная струйка и поток жидкости? Какие свойства имеет элементарная струйка?
19. Что называется гидравлическим и пьезометрическим напором?
20. Дайте определение удельной кинетической, потенциальной давления и потенциальной положения энергией для элементарной струйки и потока.
21. Что называется гидравлическими сопротивлениями? Как их классифицируют?
22. Как определяют потери напора опытным путем?
23. Какие режимы движения жидкостей существуют?
24. Чем характеризуется режим движения жидкости?
25. Объясните опыты Рейнольдса.
26. Как классифицируются отверстия и насадки?
27. В каких случаях применяются те или иные насадки?
28. Какие бывают сжатия струи?
29. Чем отличается истечение при постоянном и переменном напорах?
30. Как классифицируются водопроводы по протяженности?
31. Какие виды потерь напора рассчитываются при коротких и длинных водопроводах?
32. Чем отличаются короткие водопроводы от длинных?
33. Напишите формулу Шези.
34. Какие коэффициенты шероховатости русел Вы знаете?
35. Перечислите основные гидравлические характеристики открытых русел.
36. Что называется крутизной берегов каналов?
37. Что такое динамическая и кинематическая вязкости жидкости?
38. Приведите предельные значения вакуума.
39. Для каких водопроводов учитываются потери напора по длине и местные?
40. Что называется неравномерным движением в открытом русле?
41. Что называется нормальной глубиной?
42. Что называется призматическим и непризматическим руслом?
43. Что называется критической глубиной в призматическом русле?
44. Что называется удельной энергией сечения?
45. Что называется водосливом?
46. Что называется гребнем водослива?
47. Что называется напором над гребнем водослива?
48. В чем сущность закона Архимеда?
49. Что называется метацентром и метацентрическим радиусом?
50. Почему для остойчивости судна нужно понижать центр тяжести?

Средние по сложности вопросы

1. Эпюры гидростатического давления при давлении жидкости на часть плоской стенки и при давлении жидкости с двух сторон.
2. Чему равно давление на горизонтальное дно сосуда?
3. Какие особенности давления на цилиндрические поверхности?
4. Как рассчитываются горизонтальная и вертикальная составляющие сил давления?
5. От чего зависит знак и направление вертикальной составляющей силы давления?
6. Как определить направление и центр давления на цилиндрические поверхности?
7. Что называется “идеальной” жидкостью и ее свойства.
8. Какие основные свойства гидростатического давления?
9. Что называется полным, избыточным и манометрическим давлением?
10. Что называется гидростатическим и пьезометрическим напором?
11. Эпюры гидростатического давления при давлении жидкости на часть плоской стенки и при давлении жидкости с двух сторон.
12. Чему равно давление на горизонтальное дно сосуда?
13. Какие особенности давления на цилиндрические поверхности?
14. Как рассчитываются горизонтальная и вертикальная составляющие сил давления?
15. От чего зависит знак и направление вертикальной составляющей силы давления?
16. Как определить направление и центр давления на цилиндрические поверхности?
17. Как формулируется закон Архимеда?
18. Что называется водоизмещением, осадкой и ватерлинией плавающего тела?
19. Каковы условия для равновесного плавания тел?
20. Напишите уравнение неразрывности для элементарной струйки и потока жидкости.
21. Что называется удельной энергией?
22. Дайте определение удельной кинетической, потенциальной давления и потенциальной положения энергией?
23. Что называется гидравлическим и пьезометрическим напором?
24. Чем отличаются удельные кинетические энергии элементарной струйки и потока?
25. Дайте определение удельной кинетической, потенциальной давления и потенциальной положения энергией для элементарной струйки и потока.
26. Что называется гидравлическими сопротивлениями? Как их классифицируют?
27. Как определяют потери напора опытным путем?

28. Какие режимы движения жидкостей существуют? Чем характеризуется режим движения жидкости?
29. Как определяются потери энергии по длине потока?
30. Как определяются местные потери напора?
31. Как классифицируются отверстия и насадки?
32. Что называется коэффициентами сжатия, скорости, расхода?
33. Какие бывают сжатия струи?
34. Чем отличается истечение при постоянном и переменном напорах?
35. Какие виды потерь напора рассчитываются при коротких и длинных водопроводах?
36. От чего зависит наклон пьезометрической линии в трубопроводе?
37. Как влияет увеличение скорости в водопроводе на давление в нем?
38. Чем отличаются короткие водопроводы от длинных?
39. Напишите формулу Шези.
40. Что в этой формуле представляет коэффициент "С"?
41. Что называется модулем скорости и расхода?
42. Какие коэффициенты шероховатости русел Вы знаете?
43. Перечислите основные гидравлические характеристики открытых русел.
44. Что понимается под понятием широких неглубоких русел?
45. Что такое динамическая и кинематическая вязкости жидкости?
46. Какие виды гидравлических давлений измеряют приведенная и пьезометрическая высоты?
47. Эпюра гидростатического давления на часть вертикальной стенки.
48. Как распределяют ригели в щитах?
49. Напишите формулу Дарси. Дайте определение коэффициента Дарси - λ .
50. Напишите формулу для расчета скорости и расхода воды через малое отверстие.

Сложные вопросы

1. Как рассчитываются горизонтальная и вертикальная составляющие сил давления?
2. В чем заключается особенность истечения через малое отверстие в тонкой стенке?
3. Какие бывают сжатия струи?
4. Какие формулы применяются для определения коэффициента Дарси?
5. Как влияет величина гидравлического радиуса на коэффициент водослива?
6. Что понимается под понятием широких неглубоких русел?
7. Что называется гидравлически наиболее выгодным сечением русла?
8. Как распределяют ригели в щитах?
9. В чем заключается сущность гидростатического парадокса?

10. При каких условиях гидравлический и пьезометрический напоры равны?
11. Напишите формулу для расчета скорости и расхода воды через малое отверстие.
12. Напишите формулу Вейсбаха. Для каких отверстий она применяется?
13. Напишите формулу для расчета времени опорожнения водохранилищ неправильных геометрических форм.
14. Начертите диаграмму Бернулли для трубопровода с переменным сечением.
15. Что необходимо делать для уменьшения вакуума в трубе сифона?
16. Как рассчитать необходимый диаметр трубы насоса и высоту его положения над уровнем воды в водоеме?
17. Как рассчитывается скорость в естественных руслах?
18. Какое наиболее выгодное соотношение ширины и глубины русла?
19. Чему равен гидравлический радиус наиболее выгодного сечения канала?
20. Чем осложняется расчет естественных русел по сравнению с искусственными?
21. Как оценить шероховатость естественных русел?
22. Как определить скорость течения при отсутствии данных о шероховатости естественных русел?
23. Что называется кривыми подпора и спада?
24. Что называется нормальной глубиной?
25. Что называется призматическим и непризматическим руслом?
26. Что называется критической глубиной в призматическом русле?
27. Что называется удельной энергией сечения?
28. Как определить вид кривой свободной поверхности?
29. Какие типы кривых свободной поверхности Вы знаете?
30. Как сопрягаются кривые свободной поверхности с линией нормальных глубин?
31. Как сопрягаются кривые свободной поверхности с линией критических глубин?
32. В чем заключается принцип последовательного суммирования при построении кривых подпора?
33. Какие основные допущения приняты для построения кривых свободной поверхности?
34. Какие задачи решаются при построении кривых свободной поверхности?
35. Напишите формулу для расчета расхода воды через водослив с тонкой стенкой.
36. Как меняются координаты сливной струи в зависимости от напора?
37. Чем обусловлено сжатие струи?
38. Что называется затопленным водосливом?
39. Как влияет на коэффициент водослива напор и глубина воды перед плотиной?

40. Как учитывается боковое сжатие струи для однопролетных и многопролетных плотин?
41. Как влияет косина плотины в плане на коэффициент водослива и что называется боковым водосливом?
42. Что называется водосливом с широким порогом и какие его свойства?
43. Что называется гидравлическим прыжком?
44. Какие типы гидравлического прыжка вы знаете?
45. Что такое водобойная стенка и водобойный колодец?
46. Напишите формулу для определения наименьшей глубины водобойного колодца.
47. Напишите формулу водобойной стенки.
48. Способ Бахметева построения кривых подпора.
49. Способ Павловского для построения кривых свободной поверхности в естественных руслах.
50. Интегрирование основного уравнения неравномерного движения.

**Список тем ВКР для выпускников бакалавриатуры, направление ГМ,
рус.гр., географический факультет, кафедра гидрологии суши.
Научный руководитель – проф. Трофимов Г.Н.**

1. Изменение шероховатости русла по длине реки Чирчик
2. Изменение шероховатости русла по длине реки Ахангаран
3. Морфометрическая модель малых речных бассейнов реки Чирчик
4. Морфометрическая модель малых речных бассейнов реки Ахангаран
5. Морфометрическая модель малых рек северного склона Каратепе

Темы самостоятельных работ по курсу «Общая и специальная гидравлика» для студентов II-ого курса направления «Гидрометеорология»

1. Расчет шероховатости русла реки Чирчик по гидрометрическим данным п. Ходжикент
2. Расчет шероховатости русла реки Чирчик по гидрометрическим данным п. Чиназ.
3. Расчет шероховатости русла реки Ахангаран по гидрометрическим данным п. устье р. Иерташ
4. Расчет шероховатости русла реки Ахангаран по гидрометрическим данным п. Турк
5. Расчет шероховатости русла реки Сырдарья по гидрометрическим данным п. Каль
6. Расчет шероховатости русла реки Сырдарья по гидрометрическим данным п. Нарын
7. Расчет шероховатости русла реки Сырдарья по гидрометрическим данным п. Учкурган
8. Расчет шероховатости русла реки Сырдарья по гидрометрическим данным п. Чиназ
9. Расчет шероховатости русла реки Амударья по гидрометрическим данным п. Керки
10. Расчет шероховатости русла реки Кашкадарья по гидрометрическим данным п. Дехканабад

СЛАЙДЫ

НУУЗ им. Мирзо Улугбека

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ СМЫВА ПОЧВО-ГРУНТОВ С БАССЕЙНОВ ГОРНЫХ РЕК

Хикматов Ф.Х., Айтбаев Д.П.,
Рахманов К.Р.

Ташкент - 2011

Цель и объект исследования

❖ Основной **целью** данной работы является исследование возможности получения обобщающей зависимости, позволяющей оценить модуль смыва с бассейнов горных рек.

❖ В качестве **объекта** исследования выбраны водосборы рек средне- и низкогорной зоны Чирчик – Ахангаранского бассейна.

Способы оценки смыва почво-грунтов

- ✓ **сравнительно-географические методы оценки водной эрозии** (исследования Д.А.Арманда, М.Н.Заславского, С.И.Сильвестрова и других);
- ✓ **методы экспериментального изучения смыва** (Н.И.Манилов, Д.Н.Абрамович, М.В., Дошанов, А.Р.Расулов, Х.М.Махсудов, А.А.Ха-назаров, А.Н.Нигматов, Н.Н.Бобровицкая и другие);
- ✓ **эмпирические методы количественной оценки смыва** (Я.В. Корнев и А.Н.Костяков, М.С.Кузнецов, Ц.Е.Мирцхулава, О.П.Щеглова, Г.И.Швебс, Ф.Х.Хикматов и другие);
- ✓ **картографирование водной эрозии и стока взвешенных наносов** (Г.В.Лопатин, Г.И. Шамов, В.Л.Шульц, О.П.Щеглова и другие).

Сравнительно-географические методы

1	Балльный метод	С.И. Сильвестров (1955); Д.Л.Арманд (1956); В.Л. Крутиков (1974) и др.
2	Классификация смытых почв (степень смытости почв).	С.С. Соболев (1954); С.В. Наумов (1955); М.Н. Заславский (1966) и др.
3	Показатели (степень) эродированности территории	М.Н. Заславский (1983), Х.М.Махсудов и А.Н.Нигматов (1991) и др.

Методы экспериментального изучения

1	Метод водорои и шпилек.	Н.И. Манилов (1939), А.Р.Расулов (1981) и др.
2	Исследование водной эрозии с помощью стоковых площадок.	Д.И. Абрамович (1939); Н.Д. Ещенко (1968), А.Р.Расулов (1976) и др.
3	Искусственное дождевание	Применяется достаточно широко

Эмпирические методы количественной оценки смыва

1	Начальный этап математического моделирования	Я.В. Корнев и А.Н. Костяков(1937); А.Н. Костяков (1960); Р.Е. Хортон (1945) и др.
2	Уравнение почвенной эрозии (УПЭ) США	Р.Д. Смит и Д.М. Уайт (40-ые г.г.); Л. Бертоли, А. Барнет, А. Соресон, А. Лонглей, В. Стейммей (50-ые г.г.); Х. Уишмейер (1958-1962 г.г.)
3	Гидромеханическая модель	В.В. Звонков(1963); Ц.Е. Мирцхулава (1970,1976); М.С. Кузнецов (1976) и др.
4	Морфологическая модель	И.В. Боголюбова и А.В. Караушев (1974) и др.
5	Метод подобия	Г.В. Бастраков (1975)
6	Расчёт смыва по стоку воды	Я.В. Корнев и А.Н. Костяков (1937); Р.Е. Хортон (1945); Г.И. Швебс (1974,1981); ГГИ (1976) и др.
7	Логико-математическая модель	М.А.Великанов (1964); Г.И. Швебс (1974,1981)
8	Климатическая модель смыва	О.П. Щеглова и Ф.Х. Хикматов(1982); Ф.Х. Хикматов (2000).
9	Климатоморфологическая модель ледникового смыва	О.П. Щеглова (1984); А.Р. Расулов и Ф.Х. Хикматов (1988).

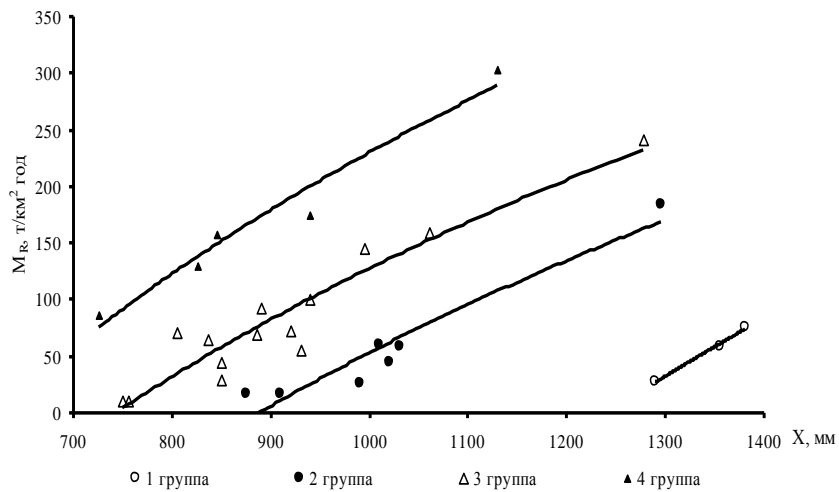
Картографирование водной эрозии и стока наносов

1	Эрозионные карты	С.С. Соболев (1948); А.С. Козменко (1954), Х.М.Махсудов и А.Н.Нигматов (1988)
2	Карты мутности рек	Г.В. Лопатин(1939,1952); Г.И. Шамов(1956); Л.Г. Гвелесиани (1950); В.Л. Шульц(1947); О.П. Щеглова(1972) и др.
3	Карты смыва	Г.В. Лопатин(1952); В.Л. Шульц (1947); О.П. Щеглова(1972,1984) и др.

Этапы выполнения работы

- В расчеты включены данные по СВН 22 пунктов наблюдений Чирчик-Ахангаранского бассейна.
- Рассчитаны средние значения по бассейнам слои атмосферных осадков.
- Их разделение на жидкие и твердые составляющие произведены по зависимости М.И.Геткера.
- рассчитана многофакторная связь модуля смыва в зависимости от слоя жидких и твердых осадков
- Получено уравнение нормализованной регрессии следующего вида:

$$U_0(M_R) = 0,742 \cdot U_1(X_T) + 0,402 \cdot U_2(X_{ж})$$



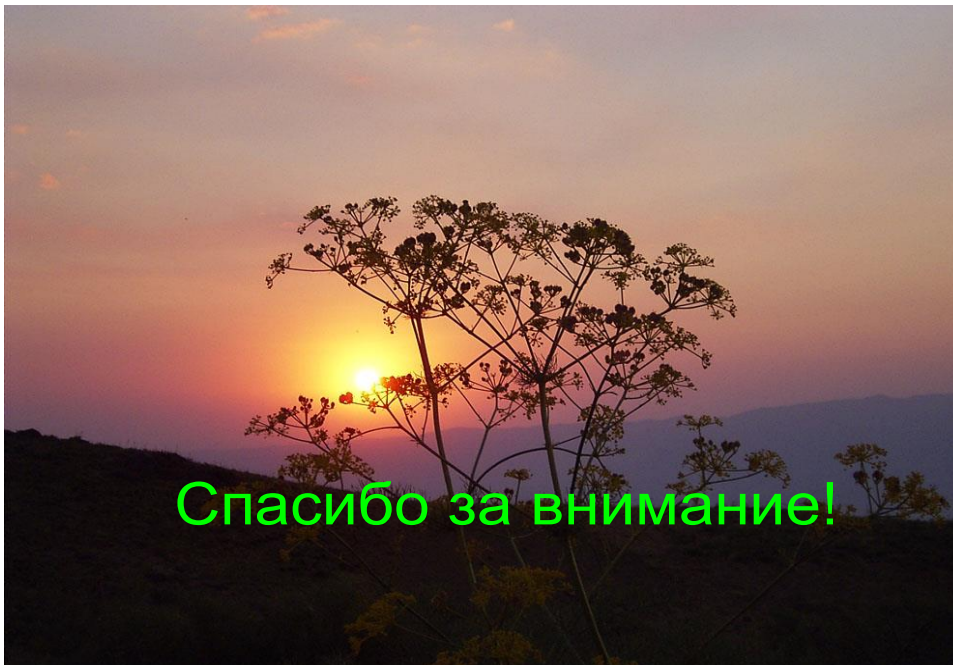
Зависимость модуля стока взвешенных наносов (M_R) от годовых сумм атмосферных осадков (ΣX)

Уравнения регрессии и коэффициенты корреляции

Номера групп	Число рек, входящих в данную группу	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции и его ошибка
I	3	$M_R = 689,6 \text{Ln}(\Sigma X) - 4912,3$	$0,98 \pm 0,007$
II	7	$M_R = 446,2 \text{Ln}(\Sigma X) - 3028,8$	$0,92 \pm 0,039$
III	14	$M_R = 428,7 \text{Ln}(\Sigma X) - 2833,7$	$0,90 \pm 0,034$
IV	5	$M_R = 480,9 \text{Ln}(\Sigma X) - 3091,4$	$0,96 \pm 0,024$

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

- ❖ Разработана методика оценки интенсивности водной эрозии и стока взвешенных наносов с водосборов рек Чирчик-Ахангаранского бассейна по данным об атмосферных осадках.
- ❖ Предложено уравнение нормализованной регрессии и расчетная номограмма.
- ❖ номограмма позволяет оценить интенсивность смыва почво-грунтов как с отдельных бассейнов, так и с бассейнов групп рек изучаемой территории.



ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Гидрологические прогнозы. - Л.: Гидромстеоиздат, 1960. - 406 с.
2. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 419 с.
3. Бефани М.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. - Л.: Гидрометеиздат, 1965. - 439 с.
4. Джорджио З.В. Опыт долгосрочных прогнозов стока рек Средней Азии. - Ташкент: Изд-во САГУ, 1955. - 202 с.
5. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы. - Л.: Гидрометеиздат, 1979. - 256 с.
6. Трофимов Г.Н. Общая и речная гидравлика. Конспект лекций. – Ташкент: 2010.
6. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан. - Ташкент: САНИГМИ, 2000. - 252 с.
7. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы Республики Узбекистан. - Ташкент: НИГМИ, 2007. -132 с.

Дополнительная

1. Дружинин И.О. Долгосрочный прогноз и информация. Новосибирск: Наука, 1987. - 255 с.
2. Расулов А.Р., Хикматов Ф. Долгосрочный прогноз стока взвешенных наносов рек Средней Азии за вегетационный период. -В кн.: Эрозионные и русловые процессы. - Луцк. 1991, с. 159-166.
3. Расулов А.Р., Хикматов Ф. Исследование условий формирования и разработка методики прогноза месячного стока взвешенных наносов рек Средней Азии. - В кн.: Водные ресурсы, проблема Арата и окружающая среда. - Ташкент: Университет, 2000. с.352-357.
4. Мухин В.М. Прогноз притока воды в Токтогульское водохранилище в период вегетации. - Тр.Гидрометцентра. 1991. N320. с.71-96.
5. Обзор существующих оперативных методов составления гидрологических прогнозов в Центральной Азии. –Ташкент: Узгидромет, 2001. -180 с.
6. www.undp.uz (Бирлашган Миллатлар ташкилоти Тараққиёт Дастури веб-сайти).
7. www.gwpcacena.org
8. www.Ziyo.net
9. Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, 24. Synoptic Meteorology.
10. www.atmos.washington.edu/academic/synoptic.html
11. Online School for Weather www.srh.noaa.gov/jetstream