

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

МЕХАНИКА
МУАММОЛАРИ

O‘ZBEKISTON
JURNALI

4
2018

УЗБЕКСКИЙ
ЖУРНАЛ

ПРОБЛЕМЫ
МЕХАНИКИ

Журнал под таким названием издается с января 1992 г.

Ташкент – 2018

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор - акад. АН РУз Т.Р. РАШИДОВ
Зам. главного редактора, и.о. секретаря – докт. техн. наук, проф. Г.Х. ХОЖМЕТОВ

Члены редколлегии: докт. техн. наук, проф. А. АБДУСАТТАРОВ,
докт. физ.-мат. наук Р.А. АБИРОВ, докт. техн. наук, проф. Р.И. БАЙМЕТОВ,
докт. техн. наук Г.А. БАХАДИРОВ, докт. физ.-мат. наук, проф. А.Б. БЕГМАТОВ,
докт. техн. наук А.Д. ДАМИНОВ, докт. техн. наук, проф. А. ДЖУРАЕВ,
докт. физ.-мат. наук, проф. Н.А. КОРШУНОВА, докт. техн. наук, проф. Ш. МАМАТКУЛОВ,
докт. физ.-мат. наук, проф. Б.М. МАРДОНОВ, докт. техн. наук, проф. Э.Ж. МАХМУДОВ,
докт. техн. наук, проф. А.А. РИЗАЕВ, докт. техн. наук, проф. З. СИРОЖИДДИНОВ,
докт. физ.-мат. наук, проф. Б.Х. ХУЖАЁРОВ, докт. техн. наук, проф. А.А. ШЕРМУХАМЕДОВ,
докт. техн. наук, проф. Ш.С. ЮЛДАШЕВ, канд. техн. наук Х.С. САГДИЕВ

В работе редколлегии принимают участие:

докт. техн. наук, проф. А. АБДУЖАББАРОВ,
докт. техн. наук, проф. Е.А. ИСАХАНОВ

Адрес редакции:

100125, Ташкент, Академгородок, Дурмон йули, 31.
Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз

Телефон: + 99871 262-78-34

Факс: +99871 262-71-52

E-mail: tur.rashidov@list.ru

Редактор: Н.А. Нишонов

Технический редактор: Е.В. Ан

Журнал зарегистрирован Агентством по печати и информации Республики Узбекистан 22.12.2006 г.
Регистрационный номер 0050.

Сдано в набор 05.01.2019. Подписано в печать 04.02.2019.
Формат 60×84 ¹/₈. Гарнитура Times New Roman. Ризография.
Усл.-печ. л. 7.8. Уч.-изд. л. 9.5. Тираж 100. Заказ 602.
Цена договорная.

Отпечатано в Минитипографии АН РУз:
100047, г. Ташкент, ул. акад. Я. Гулямова, 70.

ЎЗР ФА М.Т. ЎРОЗБОЕВ НОМИДАГИ МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ ИНСТИТУТИНИНГ 2018 ЙИЛДАГИ ИЛМИЙ-ТАШКИЛИЙ ФАОЛИЯТИ

Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси М.Т.Ўрозбоев номидаги Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти 1943 йилда ташкил топган. Институтнинг илмий фаолият йўналиши деформацияланувчан каттик жисмлар механикаси, грунтлар механикаси, суюқлик ва газ механикаси, экспериментал механика усуллари, механизмлар ва машиналар назарияси, конструкциялар динамикаси ва мустаҳкамлиги, иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги муаммолари ва уларнинг сейсмик ҳавфсизлигини таъминловчи тавсиялар тайёрлаш, уларни сейсмик ҳимоялаш усуллари, ҳаётни таъминловчи тизимларнинг сейсмик ҳавфини камайтирувчи стратегияларни ишлаб чиқиш ва илмий асосларини ривожлантиришдан иборат.

ЎЗР ФА М.Т. Ўрозбоев номидаги Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институтининг ходимлари сони 131 киши, улардан илмий ходимлар 91 та, академиклар – 1 та, фан докторлари – 20 та, фан номзодлари ва фалсафа докторлари – 32 та, илмий салоҳият 60 %.

Институтнинг илмий-тадқиқот йўналишлари бўйича давлат илмий-техника дастурлари доирасида 6 та фундаментал, 15 та амалий, 3 та инновацион, 2 та ёш олимлар илмий лойиҳалари ва 1 та Россия-Ўзбекистон халқаро лойиҳаси ҳамда фундаментал тадқиқотларни қўллаб-қувватлаш фондининг 1 та лойиҳаси бажарилди.

Институтнинг 2018 йилда эришган энг муҳим натижалари.

Фундаментал тадқиқотлар соҳасида:

– Иншоотларни ҳисоблашга қўллаш учун қалинлиги ўзгарувчан пластиналарнинг бимомент назариясига асосланган усуллар ҳамда анизотроп қотишмали металлларнинг мустаҳкамлик захираларини аниқловчи муносабатлар ишлаб чиқилди;

– Мураккаб шаклдаги ер ости қувурларнинг кучланганлик-деформацияланганлик ҳолатини тадқиқ қилиш услуби ҳамда грунтли муҳитларнинг таркибий бузилишларини ва намланганликни ҳисобга олган ҳолда чизиксиз деформацияланиш қонуниятлари ишлаб чиқилди;

– Терим аппаратида очилган ғўза қўсагини шпинделлар таъсиридаги «шар-цилиндр» модели таклиф этилди ва ўзгармас массали листли материалнинг айланувчи валлар орасидаги ишқаланишини ҳисобга олган ҳолда ҳаракат математик модели тузилди;

– Цилиндрик қувурдаги турбулент оқими учун тузилган янги модел тенгламаларининг сонли алгоритм натижалари тажриба натижалари билан таққосланди ва модел параметрлари аниқланди. Узлуксиз чизиксизликка эга бўлган сирпаниш режимида ишлайдиган гидравлик тизимлар турғунлигини тадқиқ қилиш услуби ишлаб чиқилди.

Амалий тадқиқотлар соҳасида:

– Ер ости қувурларининг тўлқинлар ва сейсмодинамика назарияларига асосан сейсмик кучлар таъсирида кучланганлик ҳолатлари натижалари меъёрий хужжатлар натижалари билан қиёсий солиштирилди ва «грунт-иншоот» тизимида инерция кучи таъсири баҳоланди;

– Актив сейсмик ҳимоя тизимида эга бўлган биноларнинг сейсмик мустаҳкамлиги ҳисоблаш услублари ишлаб чиқилди, олинган натижалар кичик частотали сейсмик кучларни икки баробаргача ҳамда юқори частотали сейсмик кучларни бир неча мартагача камайишини кўрсатди;

– 4 қаторли МХ-2,4 пахта териш машинаси терим аппаратининг 14 шпинделли барабан ҳамда универсал шпинделларининг параметрлари асосланиб, лойиҳалашга топширилди, тиркама пахта терим машинаси МХ-1,8 ни пневмотранспорти қувурларидаги аэродинамик қаршилик коэффициенти аниқланди;

– 8 қаторли культиватор универсал рамасининг параметрлари асосланди ва лойиҳалаш учун топширилди, боғдорчилик ва узумчиликка мўлжалланган юқори клиренсли трактор осма қурилмаси ва рул бошқаруви параметрларининг статик ҳисоби бажарилди;

– Янги тишли-ричагли дифференциал узатиш механизм схемаси ҳамда кўн ярим маҳсулотга механик ишлов берувчи кўп операцияли машинада маҳсулотга ишлов бериш технологик жараёни ишлаб чиқилди;

- Ишлаб - чиқариш чикинди маҳсулотлари - қаттиқ заррачалар ва уларнинг муаллақ оқимининг транспортировка қобилиятини ҳақиқий характеристикалари аниқланди;
- Аррали жин ишчи камерасини экспериментал тадқиқ этиб, тажрибалар ўтказилди ва жин ишчи камерасининг рационал параметрлари аниқланди;

Инновацион тадқиқотлар соҳасида:

- Эксплуатация қилинаётган гидротехник иншоотлар учун сейсмик хавфни баҳолаш ва камайтириш бўйича ишлаб чиқилган тавсияномалар лойиҳалаш институтларига жорий этишга қабул қилинди;
- Рух қуқунини ишлаб чиқаришда сепарация қилиш технологияси «Олмалик тоғ-металлургия» ОАЖ комбинатига татбиқ қилиш учун топширилди;
- Қорасув ва Бука пахта тозалаш корхоналарида аррали жин арраларо кистирмаларининг ресурс синовлари ўтказилди ва технологик жараёнларга татбиқ этилди.

Чоп этиш натижалари. 2018 йилда чоп этилган илмий мақолаларнинг умумий сони 123 та, илмий журналларда 58 та, шундан чет элда 16 та, республика миқёсида 42 та, Web of Science, Scopus туркумига кирувчи журналларда 5 та мақолалар чоп этилган. Илмий конференция, симпозиум ва анжуманларда 65 та, шундан чет элда 15 та, республикада 50 та илмий ишлар чоп этилган. Чоп этилган монографиялар сони 2 та. Интеллектуал мулк агентлигидан олинган патентлар ва гувоҳномалар сони 20 та, шундан ихтиро учун патентлар 6 та, фойдали модел учун патентлар 2 та, дастурий маҳсулотлар учун олинган гувоҳномалар сони 12 та.

Илмий кадрлар тайёрлаш. Институтда 2018 йилда 1 та фан доктори, 2 та фалсафа докторлари тайёрланди. Ҳозирда институтнинг 2 та ёш олими Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги семинардан муваффақиятли ўтиб ҳимояга тавсия этилган.

Олий аттестация комиссиясининг раёсат қарори билан институтимизнинг 1 та ходимига профессор, 3 та ходимларига катта илмий ходим унвонлари берилди.

Институтда 01.02.02 – «Машиналар, асбоблар ва усқуналар динамикаси ва мустаҳкамлиги» (техника фанлари), 01.02.04 – «Деформацияланувчан қаттиқ жисм механикаси» (физика-математика ва техника фанлари), 01.02.05 – «Суюқлик ва газ механикаси» (физика-математика ва техника фанлари) ихтисосликлари бўйича фан доктори илмий даражасини олиш учун диссертациялар ҳимоя қилиш бўйича Dsc.28.02.2018.T/FM.61.01 рақамли Илмий кенгаш фаолият юритмоқда. 2018 йилда ушбу Илмий кенгашда 1 та фан доктори (DSc), 2 та фалсафа докторлари (PhD) ҳимоя қилдилар.

Институтнинг республика ва чет эл олий таълим, илмий-тадқиқот муассасалари билан ўзаро интеграцияси. 2018-2019 ўқув йилида республикамизнинг кўплаб олий таълим муассасаларида жумладан, Ўзбекистон миллий университети, Тошкент темир йўл муҳандислари институти, Тошкент архитектура-қурилиш институти, Тошкент автомобиль йўлларни лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институти, Губкин номидаги Россия нефть ва газ университетининг Тошкент филиали, Тошкент тўқимачилик ва енгил саноати институти, Тошкент давлат техника университети, Тошкент кимё-технология институти, Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институтида ходимларимиз таълим бериш жараёнида фаол иштирок этмоқдалар.

Россия Фанлар академиясининг «Механика муаммолари» ва «Машинасозлик муаммолари» илмий-тадқиқот институти билан биргаликда бино ва иншоотларни зилзиладан ҳимоялаш муаммолари бўйича халқаро лойиҳа тадқиқотлари олиб борилмоқда.

2018 йилда институт Қозоғистоннинг Алматы университети ва Жанубий Кореянинг «Сан Мун» университетининг «Университет-саноат ҳамкорлиги» маркази ҳамда республикамизнинг 7 та олий таълим муассасалари билан ҳамкорлик шартномаларини тузди. Ушбу шартномалар асосида Ўзбекистон миллий университети, Тошкент архитектура-қурилиш институти, Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институти, Тошкент автомобиль йўлларни лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институтилари талабалари томонидан институтда 4 та магистрлик диссертациялари ва 6 та бакалавр диплом ишлари бажарилди.

Ёш олимлар фаолияти. Япония халқаро ҳамкорлик ташкилоти лойиҳаси доирасида ЛСА томонидан 2018 йил 27 июндан 27 июлига қадар Японияда ўтказилган «Табиий офатлардан

(зилзилалар, цунами ва ёнгинлардан) биноларни муҳофаза қилиш ва олдини олиш» ўқув семинарида институтимиз ёш олими А.С. Ювмитов стажировкада бўлди.

2018 йилда институтнинг 5 та ёш олимлари ва ходимлари Тошкент шаҳрига доимий рўйхатга туриш имкониятига эга бўлдилар. ЎзР Вазирлар Маҳкамасининг 2017 йил 17 октябрдаги «Докторантларга илмий-тадқиқот ишларини бажаришда моддий шароитларни яратиш ва кейинчалик уларнинг меҳнат фаолиятини раҳбатлантириш» тўғрисидаги №839-сон қарорини бажариш доирасида ЎзР Фанлар академияси тавсиясига асосан институтнинг кичик илмий ходими Д.А. Қўлдошев арзон нархдаги имтиёзли квартира билан таъминланди.

Институт Илмий кенгаши мажлисларида докторантларнинг ва мустақил изланувчиларнинг илмий ишлари доимий эшитилиб, муҳокама қилинди. Докторант ва тадқиқотчиларнинг илмий фаолияти мунтазам мониторингдан ўтказиб борилмоқда.

Институт раҳбарияти томонидан «Ёш олимлар кенгаши» фаолияти доимий қўллаб қувватланиб келинмоқда, жумладан турли тадбирларни уюштиришда уларни ўтказишда ёш олимларни ҳар томонлама қўллаб қувватлашда институтда амалий ишлар бажарилди. Институт «Ёш олимлар кенгаши»нинг 2018 йил учун йўл харитаси шакллантирилди ва шу асосда ишлар олиб борилди. Институт Ёш олимлар кенгаши йиғилишларида ёш олимларнинг илмий изланишлари доимий муҳокама қилиб борилади.

ЎзР ФА ва Бирлашган қасаба уюшмаси қўмитасининг 2018 йил 17 апрелдаги «Йилнинг энг фаол ёш олими» танловини ўтказиш тўғрисидаги қўшма қарорига асосан Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти директорининг буйруғи билан 1 май куни институт ёш олимлари орасида танлов ўтказилди. Танловда Е.В. Ан биринчи ўринни, Ҳ.А. Аҳмедов иккинчи ўринни, Г.Т. Аюбов учинчи ўринни эгалладилар. Ғолиблар институт раҳбарияти томонидан моддий раҳбатлантирилди. Институт босқичи ғолиби Е.В. Ан кейинчалик ЎзР ФА ва Тошкент шаҳар босқичларида биринчи ўринни эгаллади, Республика босқичида эса иккинчи ўрин соҳиби бўлди. А.М. Набиев республикада ўтказилаётган турли конференцияларда, жумладан «Фан ва таълимни ривожлантиришда ёшларнинг ўрни» мавзусидаги республика илмий-амалий анжуманида «Энг яхши инновацион ғоя», «XXI аср – интеллектуал ёшлар асри» мавзусидаги республика илмий ва илмий-техник анжуманида «Энг яхши илмий мақола» номинацияларида ғолиб бўлди.

Институт ёш олимлари республика ва институт миқёсида ўтказилаётган турли тадбир ва жамоат ишларида ҳам фаол қатнашмоқдалар. Оммавий ахборот воситаларида, Ўзбекистон телеканаллари, Маданият ва маърифат телеканаллари, Ўзбекистон радиоканаллари, Маҳалла радиоканалларида ҳам институт «Ёш олимлар кенгаши» аъзолари илмий ютуқларини кенг оммага етказиш учун ўз чиқишлари билан қатнашдилар.

Давлат мукофотлари билан тақдирланиш.

Институтимизнинг «Ер ости иншоотлари, асослар ва пойдеворлар сейсмодинамикаси» лабораторияси мудирлари, бош илмий ходим, ЎзР ФА академиги Т.Р. Рашидов 2018 йилда Ўзбекистон Республикаси Президентининг 28 августдаги Фармонида асосан, Ватанимиз мустақиллигини мустаҳкамлаш, халқимиз маданияти ва маънавиятини юксалтириш ишига қўшган муносиб ҳиссаси, ёрқин истеъдоди ва серкирра ижоди, илмий фаолияти, самарали хизматлари, ёш авлодни она юртга муҳаббат, истиқлол ғояларига садоқат руҳида соғлом ва баркамол этиб тарбиялаш ҳамда жамоат ишларидаги фаол иштироки учун «Меҳнат шухрати» ордени билан мукофотланди.

Институт моддий-техника баъзасини янгилаш. Институтнинг моддий-техника базаси замонавий даражадан орқада қолган, илмий-техник лойиҳаларни самарали амалга ошириш учун замонавий лаборатория жиҳозлари билан жиҳозлашни талаб қилади.

Институт моддий-техника базаси замонавий даражада жиҳозлаш учун ПҚ-3190-сон қарор асосида АҚШнинг МТС фирмаси билан лаборатория жиҳозларини сотиб олиш учун 1,2 млн АҚШ доллари миқдоридан шартномалар тузилмоқда.

Илмий ишланмаларни жорий қилиш. Илмий ишланмаларни амалиётга татбиқ этиш уларни тижоратлаштириш соҳасида ҳам бир қатор ишлар амалга оширилди.

ЎзР Президентининг 2018 йил 14 июлдаги ПҚ-3855 –сон Қарорида келтирилган тижоратлаштириладиган ишланмалар бўйича қуйидаги ишлар бажарилди:

1. Бўка ва Қорасув пахта тозалаш корхоналарида янги арралараро қистирмалар ўрнатилди ва саноат-тажриба синов ишлари амалга оширилмоқда.

2. Навоий тоғ-металлургия комбинатининг Қизилқум фосфорит комбинатида ҳўл чангютгич ўрнатилиб, тажриба синов ишлари амалга оширилди.

3. Рух кукунини ишлаб чиқиш технологик тизимини саноатга татбиқ қилиш мақсадида Олмалик тоғ-металлургия комбинатида синовдан ўтказиш ишлари амалга оширилмоқда.

Иқтисодийнинг турли соҳаларига жорий қилиш ҳамда фойдаланиш учун топширилган ишланмалар.

1. ҚМҚ 2.01.03-96 - «Сейсмик ҳудудларда қурилиш»нинг «Ер ости иншоотлари ва муҳандислик тармоқлари» IV-бўлими илмий асосланган таклифлар билан қайта ишлаб, тўлдирилган варианты Қурилиш вазирлигига тақдим этилди.

2. Қалин деворли анизотроп пластиналарнинг бимоментли назарияси асосида ишлаб чиқилган ҳисоблаш усуллари Қурилиш вазирлиги тармоғидаги лойиҳалаш ташкилотларига бино ва иншоотларни сейсмик мустаҳкамликка ҳисоблаш жараёнларида фойдаланилиш учун топширилди.

3. Эксплуатация қилинаётган гидротехник иншоотлар учун сейсмик хавфни баҳолаш ва камайтириш бўйича ишлаб чиқилган тавсияномалар йирик «Гидропроект», «Ўзсувлўйиҳа» ҳамда «Uzgir» лойиҳа институтларида фойдаланиш учун қабул қилинди.

4. Тўқимачилик ишлаб чиқариш технологик жараёнларида ҳосил бўладиган динамик зўриқишларни ҳисобга олган ҳолда тўқимачилик ипларининг мустаҳкамлиги назариясини ривожлантириш мавзусидаги тадқиқот иши натижалари «Ўзтўқимачиликсаноат» уюшмасига қарашли корхоналарга амалиётга татбиқ этиш учун топширилди.

5. «Боғдорчилик ва узум етиштириш учун мўлжалланган портал юқори клиренсли тракторнинг турғунлиги бўйича конструктив параметрларини ишлаб чиқиш» ҳамда «Чўл ерлари учун турғунлиги оширилган универсал-чоппиқ тракторининг конструктив параметрларини ишлаб чиқиш» тадқиқот ишларининг натижалари «Трактор» маҳсус конструкторлик бюроси унитар корхонасига муҳандис-конструкторлик ишларида фойдаланиш учун қабул қилиниб, далолатномалар олинди.

6. Тўрт қаторли пахта териш машинаси терим аппарати учун ресурстежамкор ишчи органлари (шпиндель, барабан ва б.) параметрларини асослаш мавзусидаги тадқиқот иши асосида ТА (шпиндел, барабан) ишчи органларини лойиҳалашга таклифлар тайёрланди ва «Ўзбекистон давлат техника ва технологияларни синовдан ўтказиш маркази» ва «Трактор» маҳсус конструкторлик бюроси унитар корхонасида жорий этишга қабул қилинди.

7. Кўн ярим маҳсулотига механик ишлов бериш учун жараёнлараро элитиб берувчи қурилма ва механизмлар ишлаб чиқиш мавзусидаги тадқиқот ишининг муҳим илмий натижалари «Ўзчармсаноат» ассоциациясининг корхоналарига тадбиқ этиш учун топширилди.

Институтда 2018 йилда халқ хўжалигининг турли соҳаларига тегишли 6 та хўжалик шартномалари бажарилди.

Ўзбекистон Республикаси Президенти Шавкат Мирзиёевнинг 2018 йил 22 декабрдаги Олий Мажлисга мурожаатномаси, Фаол инвестициялар ва ижтимоий ривожланиш йили ҳамда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида белгилаб берилган вазифаларни бажариш 2019 йилда ҳам институт илмий-ташқилий фаолиятидаги асосий дастуриимиз бўлади.

«Фаол инвестициялар ва ижтимоий ривожланиш йили»да ҳам институтнинг илмий ҳамда илмий-ташқилий фаолиятини янада ривожлантириш, илмий лойиҳаларни сифатли бажариш, амалиётга кенг татбиқ этиш ҳамда тижоратлаштириш ишларини жадаллаштириш бўйича амалий ишлар олиб бориш, чет эл илмий-тадқиқот ва олий таълим муассасалари билан ҳамкорликни кучайтириш, чет эл стажировкаларини ташкиллаштириш, ёшларни илм-фандаги ролини кучайтириш уларни ҳар томонлама қўллаб қувватлаш асосий вазифаларимиз бўлиб қолади.

ОТКЛОНЕНИЯ СИСТЕМЫ С КИНЕМАТИЧЕСКИМИ СВЯЗЯМИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ ВОЗМУЩЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО ОПОРНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Как известно, в рамках аналитической механики системы, содержащие кинематические связи, в основном, представляют собой качение твердого тела без проскальзывания по поверхности другого тела. Что касается вопроса качения деформируемого колеса с упругой периферией по поверхности, то существует несколько моделей, где деформируемость колеса учитывается конечным числом параметров деформаций. К таким моделям относятся модели качения деформируемого колеса Грайдануса, М.В. Келдыша [1], И. Рокара [2], Н.А. Фуфаева [3]. Вышеперечисленные теории успешно применяются в зависимости от поставленной задачи и требуемой точности, но среди них достаточно полной является модель М.В.Келдыша. Следует отметить, что эти модели, исходя из поставленной цели, достаточно хорошо описывают процесс качения колеса относительно прямолинейного движения. В статье рассматривается вопрос отклонения диска относительно опорного движения, которое допускает абсолютно твердое колесо с учетом деформируемости в окрестности точки контакта. При этом масса деформируемой части считается малой и некоторые составляющие силы реакции рассматриваются как постоянно действующие возмущения.

На основании теории М.В. Келдыша отсутствие скольжения колеса учитывается следующими условиями:

1. Скорость центра контакта направлена по касательной к линии качения колеса.
2. Кривизна линии качения колеса однозначно определяется параметрами деформаций.

Уравнения движения колеса (колесо представляет собой диск с упругой периферией) при качении по шероховатой горизонтальной плоскости удобно рассматривать в подвижных системах координат, связанных с колесом:

$$M\vec{W}_C = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i^e + \vec{N}, \quad \frac{d\vec{G}_C}{dt} + [\vec{\Omega}_1 \times \vec{G}_C] = \vec{M}_C^e,$$

где $\vec{\Omega}_1$ – угловая скорость системы координат, связанной с точкой контакта; \vec{N} – сила реакции плоскости; \vec{G}_C – кинетический момент диска относительно центра масс диска.

Уравнения движения для центра масс в проекциях на подвижную систему координат $Kx_1y_1z_1$, связанную с точкой контакта, имеют вид:

$$m(\ddot{x}_C \sin \psi - \ddot{y}_C \cos \psi) = m(\vec{W}_C \vec{i}_1) = N_{x1},$$

$$m(\ddot{x}_C \cos \psi + \ddot{y}_C \sin \psi) = m(\vec{W}_C \vec{j}_1) = N_{y1},$$

$$m\ddot{z}_C = -mg + N_{z1},$$

а для кинетического момента в подвижной системе координат $Kx_2y_2z_2$, связанной с диском, имеем:

$$A\dot{\omega} + (A - C)\dot{\psi}\dot{\vartheta} \cos \vartheta = am(\vec{W}_C \vec{j}_1),$$

$$B\ddot{\vartheta} - A\omega\dot{\psi} \cos \vartheta + C\dot{\psi}^2 \sin \vartheta \cos \vartheta = ma \cos \vartheta (\vec{W}_C \vec{i}_1) + N_{z1}(a \sin \vartheta + \lambda),$$

$$C \frac{d}{dt} (\dot{\psi} \cos \vartheta)'_t - B\dot{\vartheta}\dot{\psi} \sin \vartheta + A\dot{\vartheta}\omega = 0,$$

где $\omega = -\dot{\varphi} + \dot{\psi} \sin \vartheta$; ϑ – угол наибольшего наклона плоскости диска; ψ – угол между линией пересечения плоскости диска и осью Ox ; φ – угол собственного вращения диска; a – радиус диска; N_{x1} , N_{y1} , N_{z1} – компоненты силы реакции плоскости. Главные центральные моменты инерции диска обозначим через A , B , C , где A – полярный момент, B , C ($B=C$) – полярные моменты инерции относительно координатных осей, связанных с центром масс диска. Как известно, в случае абсо-

лотно твердого диска эти уравнения движения допускают стационарные движения, которые образуют поверхность

$$(C + ma^2)\dot{\psi}_0(\dot{\varphi}_0 - \dot{\psi}_0 \sin \vartheta_0) + A\dot{\psi}_0^2 \sin \vartheta_0 - mgatg \vartheta_0 = 0,$$

и эти стационарные движения при $\vartheta_0 \neq 0$ представляют собой круговые движения. В частном случае на этой поверхности точка $\vartheta_0 = 0, \dot{\psi}_0 = 0$ соответствует прямолинейному движению. Если колесо представляет собой диск с упругой периферией, то, согласно модели М.Н. Келдыша, условия качения записываются в следующем виде:

$$(\vec{r}_{p_1} + \vec{\lambda})'_t = \dot{\varphi} \cdot a \cdot (\cos(\psi + \psi_1)\vec{i} + \sin(\psi + \psi_1)\vec{j}), \quad (1)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{d(\psi + \psi_1)}{a \cdot ds} = \frac{1}{R_0} + \alpha\lambda - \beta\psi_1 + \gamma\vartheta, \quad (2)$$

а составляющие силы реакции в плоскости эквивалентны продольной и поперечной R_{x1} , $R_{x1} = a_1\lambda$ (пропорциональной боковой деформации колеса λ), направленной вдоль поперечной оси px_1 и моменту кручения $M_{\psi} = a_2 \cdot \psi_1$ относительно вертикальной оси. Учитывая составляющие силы реакции и условия качения, уравнения движения диска примут вид:

$$m(\ddot{x}_C \sin \psi - \ddot{y}_C \cos \psi) = a_1\lambda,$$

$$m(\ddot{x}_C \cos \psi + \ddot{y}_C \sin \psi) = N_{y1},$$

$$m\ddot{z}_C = -mg + N_{z1},$$

$$A \frac{d}{dt} \omega = am(\vec{W}_C \vec{j}_1),$$

$$B\ddot{\vartheta} - \omega\dot{\psi} \cos \vartheta + C\dot{\psi}^2 \sin \vartheta \cos \vartheta = a \cos \vartheta a_1\lambda + N_{z1}(a \sin \vartheta + \lambda),$$

$$C \frac{d}{dt} (\dot{\psi} \cos \vartheta) - B\dot{\vartheta}\dot{\psi} \sin \vartheta + A\dot{\vartheta}\omega = a_2\psi_1,$$

где $\omega = -\dot{\varphi} + \dot{\psi} \sin \vartheta$. Если учесть, что скорость центра масс колеса определяется соотношением $\vec{v}_C = \vec{v}_K + [\vec{\Omega}_1 \times P\vec{C}]$, то первая группа уравнений для определения движения центра масс с учетом (1) примет вид:

$$m(\ddot{\lambda} - \lambda\dot{\psi}^2 + a\ddot{\varphi} \sin \psi_1 + a\dot{\varphi}(\dot{\psi} + \dot{\psi}_1) \cos \psi_1 + a(\cos \vartheta \ddot{\vartheta} - \sin \vartheta (\dot{\vartheta}^2 + \dot{\psi}^2))) = -a_1\lambda,$$

$$m(a\ddot{\varphi} \cos \psi_1 - a\dot{\varphi}(\dot{\psi} + \dot{\psi}_1) \sin \psi_1 - 2\dot{\lambda}\dot{\psi} - \lambda\ddot{\psi} - a(2\dot{\vartheta}\dot{\psi} \cos \vartheta - \dot{\psi} \sin \vartheta)) = N_{y1}, \quad (3)$$

$$ma(\sin \vartheta \ddot{\vartheta} + \cos \vartheta \dot{\vartheta}^2) = -mg + N_{z1},$$

а вторую группу уравнений можно переписать в виде

$$A \frac{d}{dt} \omega + ma^2(2 \cos \vartheta \dot{\psi} \dot{\vartheta} - \dot{\psi} \sin \vartheta) = am(a\ddot{\varphi} \cos \psi_1 - a\dot{\varphi}(\dot{\psi} + \dot{\psi}_1) \sin \psi_1 - 2\dot{\lambda}\dot{\psi} - \lambda\ddot{\psi}),$$

$$B\ddot{\vartheta} - (A\omega - C\dot{\psi} \sin \vartheta)\dot{\psi} \cos \vartheta = a \cos \vartheta a_1\lambda + m(-a \sin \vartheta \ddot{\vartheta} - \cos \vartheta \dot{\vartheta}^2 + g)(a \sin \vartheta + \lambda), \quad (4)$$

$$C \frac{d}{dt} (\dot{\psi} \cos \vartheta) - B\dot{\vartheta}\dot{\psi} \sin \vartheta + A\dot{\vartheta}\omega = a_2\psi_1.$$

Система уравнений (3) и (4) вместе с условием качения (2) представляет собой замкнутую систему уравнений относительно переменных $\lambda, \vartheta, \psi, \varphi, \psi_1$ и составляющих силы реакции N_{y2}, N_{z2} . Рассмотрим вопрос существования частных решений.

1. Прямолинейное движение. Нетрудно убедиться, что уравнения движения допускают прямолинейное движение $\vartheta = 0, \psi = \psi_0, \omega = \omega_0, \lambda = 0, \psi_1 = 0$.

2. Круговое движение. Круговому движению соответствуют значения переменных $\vartheta = \vartheta_0, \dot{\psi} = \dot{\psi}_0, \omega = \omega_0, \lambda = \lambda_0, \psi_1 = \psi_1^0$. Подставляя в уравнения движения, получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} m(-\lambda_0 \dot{\psi}_0^2 + a \dot{\phi}_0 \dot{\psi}_0 \cos \psi_1^0 - \sin \vartheta_0 \dot{\psi}_0^2) &= -a_1 \lambda_0, \\ -a^2 m \dot{\phi}_0 \dot{\psi}_0 \sin \psi_1^0 &= 0, \quad a_2 \psi_1^0 = 0, \\ (A \omega_0 - C \dot{\psi}_0 \sin \vartheta_0) \dot{\psi}_0 \cos \vartheta_0 &= a \cos \vartheta_0 a_1 \lambda_0 + mg(a \sin \vartheta_0 + \lambda_0). \end{aligned}$$

Отсюда следует, что круговое движение допустимо только в случае, когда отсутствует поворот площадки контакта относительно плоскости диска $\psi_1^0 = 0$. В этом случае условия существования криволинейного движения примут вид:

$$\begin{aligned} m(-\lambda_0 \dot{\psi}_0^2 + a \dot{\phi}_0 \dot{\psi}_0 - \sin \vartheta_0 \dot{\psi}_0^2) &= a_1 \lambda_0, \\ (A \omega_0 - C \dot{\psi}_0 \sin \vartheta_0) \dot{\psi}_0 \cos \vartheta_0 &= a \cos \vartheta_0 a_1 \lambda_0 + mg(a \sin \vartheta_0 + \lambda_0), \end{aligned}$$

т.е. имеет место многообразие стационарных движений размерности, равной двум.

Теперь рассмотрим вопрос движения диска с учетом деформируемости в области контакта относительно опорной траектории, соответствующего прямолинейному движению абсолютно твердого диска. При этом предположим, что собственная угловая скорость поддерживается постоянной. Нетрудно убедиться, что с учетом поворота площадки контакта ψ_1 полная система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} m(\ddot{\lambda} - \lambda \dot{\psi}^2 + a \dot{\phi}_0 (\dot{\psi} + \dot{\psi}_1) \cos \psi_1 + a(\cos \vartheta \ddot{\vartheta} - \sin \vartheta (\dot{\vartheta}^2 + \dot{\psi}^2))) &= -a_1 \lambda, \\ B \ddot{\vartheta} - (A(-\dot{\phi}_0 + \dot{\psi} \sin \vartheta) - C \dot{\psi} \sin \vartheta) \dot{\psi} \cos \vartheta &= a \cos \vartheta a_1 \lambda + m(-a \sin \vartheta \ddot{\vartheta} - \cos \vartheta \dot{\vartheta}^2 + g)(a \sin \vartheta + \lambda), \\ C \frac{d}{dt} (\dot{\psi} \cos \vartheta) - C \dot{\vartheta} \dot{\psi} \sin \vartheta + A \dot{\vartheta} (-\dot{\phi}_0 + \dot{\psi} \sin \vartheta) &= a_2 \psi_1, \\ \dot{\psi} + \dot{\psi}_1 &= a \dot{\phi}_0 (\alpha \lambda - \beta \psi_1 + \gamma \vartheta). \end{aligned}$$

Полученные уравнения представляют собой уравнения движения диска с учетом возмущений, вызываемых деформируемостью в области контакта. Для исследования устойчивости рассмотрим линейное приближение в окрестности частного решения.

$$\begin{aligned} m(\ddot{\lambda} + a \dot{\phi}_0 (\dot{\psi} + \dot{\psi}_1) + a \ddot{\vartheta}) &= -a_1 \lambda, \\ B \ddot{\vartheta} + A \dot{\phi}_0 \dot{\psi} &= a a_1 \lambda + mg(a \vartheta + \lambda), \\ C \ddot{\psi} - A \dot{\vartheta} \dot{\phi}_0 &= a_2 \psi_1, \\ \dot{\psi} + \dot{\psi}_1 &= a \dot{\phi}_0 (\alpha \lambda - \beta \psi_1 + \gamma \vartheta). \end{aligned}$$

Характеристические уравнения первого приближения запишутся в виде

$$\begin{aligned} C^2 \mu^5 + C(\beta_1 - ga) \mu^5 + (a_1 C^2 + A^2 \omega_0^2 + (aa_1 + mg)aC + Ca_2 + \alpha_1 v C^2 - \beta_1 Cga) \mu^4 + \\ (\beta_1 (a_1 C^2 + A^2 \omega_0^2 + gaC) - (\alpha_1 v C + a_2 + Ca_1)ga) \mu^3 + a_2 (a_1 C + \alpha_1 (A \omega_0 a + Cv) + \\ a^2 a_1 - \gamma_1 A \omega_0) \mu^2 + ((a_1 ga + \alpha_1 vga)a_2 - \beta_1 a_1 (vA \omega_0 - A \omega_0^2)) \mu + a_2 \gamma_1 (a_1 v - A \omega_0 a_1) = 0. \end{aligned}$$

Тогда достаточные условия устойчивости получим из критерия Гурвица

$$\omega_0^2 > \frac{mga}{a_1 \gamma_1 A}, a_2 C + (C \beta_1 - A) m a^2 \omega_0^2 > 0, \Delta_4 > 0,$$

$$\Delta_3 = \beta_1^2 [(A^2 \omega_0^2 - C m g a)(a_2 C + (C \gamma_1 - A) m a^2 \omega_0^2)] - \beta_1^2 C^2 (\gamma_1 A \omega_0 - m g a) a_2 > 0,$$

т.е. имеем одновременно выполнение четырёх условий.

Таким образом, если учесть деформируемость диска в области контакта с помощью модели качения М.В. Келдыша, то мы можем получить определенную область устойчивости, которая включает в себя кинематические и динамические параметры диска.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Левин М. А., Фуфаев Н. А. Теория качения деформируемого колеса. М., 1989.
- [2] Рокар И. Неустойчивость в механике. Автомобили. Самолеты. Висячие мосты. М.: Изд-во иностранной литературы, 1959. – 288 с.
- [3] Неймарк Ю. И., Фуфаев Н. А. Динамика неголономных систем. М.: Наука, 1967.

Национальный университет Узбекистана
им. Мирзо Улугбека

Дата поступления
28.11.2018

М.Н. Сидиков. Кинематик боғланишли системани доимо таъсир қилувчи оғдиришлар таъсирида таянч траекторидан оғиши

Дискни горизонтал текислик бўйлаб ҳаракати контакт нуқта атрофидаги деформацияланишини М.В. Келдиш модели ёрдамида ҳисобга олинган ҳолда таянч траекториядан оғиши кўриб чиқилган.

M.N. Sidikov. Deviations of the system with kinematic connections under the influence of constantly acting disturbances relative to the reference trajectory

The question of the disc deflection relative to movement, which allows an absolutely solid wheel with regard to its deformability in the vicinity of the contact point, is considered. This uses the rolling model of the wheel M.V. Keldish.

УДК 539.3

Р.Ш. ИНДИАМИНОВ, А.С. НАРКУЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТОКОНЕСУЩИХ ОРТОТРОПНЫХ ОБОЛОЧЕК В НЕЛИНЕЙНОЙ ПОСТАНОВКЕ

Развитие теории сопряженных полей и, в частности, теории электромагнитного взаимодействия с деформируемой средой, считается одним из главных направлений современной механики твердого тела. Механизм взаимодействия упругой среды с электромагнитным полем разнообразен и обусловлен геометрическими характеристиками и физическими свойствами рассматриваемого тела. В частности, этот механизм получает некоторые специфические особенности, когда рассматривают проблемы относительно тонких пластин и оболочек, обладающих анизотропией проводящих свойств. Большинство известных работ по деформированию упругих проводящих тел выполнены для линеаризованной системы уравнений. Однако решение ряда прикладных задач, к которым нужно отнести нестационарные задачи определения напряженного состояния гибких токонесущих анизотропных оболочек, требует более полного изучения механических процессов, включая волновые поля, сопровождающие магнитоупругое взаимодействие, на основе нелинейной модели магнитоупругости и представляют собой актуальную научную задачу.

Нелинейная постановка задачи. Основные уравнения. Рассмотрим гибкие токонесущие конические оболочки переменной вдоль меридиана толщины, находящихся под действием нестационарных электромагнитных и механических полей. Пренебрегая влиянием процессов поляризации и намагничивания, а также температурными напряжениями, полагаем, что к торцу оболочки подводится переменный электрический ток от внешнего источника. Предполагается, что сторонний электрический ток в невозмущенном состоянии равномерно распределен по телу (плотность тока не зависит от координат). Упругие свойства материала оболочки считаются ортотропными, главные направления упругости которого совпадают с направлениями соответствующих координатных линий, электромагнитные же свойства материала характеризуются тензорами электрической проводимости σ_{ij} , магнитной проницаемости μ_{ij} , диэлектрической проницаемости ϵ_{ij} . При этом, исходя из кристаллофизики, для рассматриваемого класса проводящих ортотропных сред с ромбической кристаллической структурой примем, что тензоры σ_{ij} , ϵ_{ij} и μ_{ij} принимают диагональный вид. В этом случае произвольная поверхность второго порядка обладает тремя взаимно перпендикулярными осями второго порядка и можно расположить эти оси параллельно кристалло-

графическим осям второго порядка, а также характеристическая поверхность второго порядка обладает всеми элементами симметрии, которые могут быть у классов орторомбической системы.

Как предположим, геометрические и механические характеристики тела таковы, что для описания процесса деформирования применим вариант геометрически нелинейной теории тонких оболочек в квадратичном приближении. Предположим также, что относительно напряженности электрического поля \vec{E} и напряженности магнитного поля \vec{H} выполняются электромагнитные гипотезы [1]. Принятие этих гипотез позволяет свести задачу о деформации трехмерного тела к задаче о деформации выбранной произвольным образом координатной поверхности.

Координатную поверхность в недеформированном состоянии отнесем к криволинейной ортогональной системе координат s и θ , где s – длина дуги образующей (меридиана), отсчитываемая от некоторой фиксированной точки, θ – центральный угол в параллельном круге, отсчитываемый от выбранной плоскости.

Координатные линии $s=const$ и $\theta=const$ являются линиями главных кривизн координатной поверхности. Выбирая координату ζ по нормали к координатной поверхности вращения, отнесем оболочки к координатной пространственной системе координат s, θ, ζ . Предположим, что на поверхности конической оболочки известны вектор магнитной индукции, а также поверхностные механические силы.

При получении разрешающей системы в нормальной форме Коши выберем в качестве основных функций $u, w, \theta_s, N_s, Q_s, M_s, B_\zeta, E_\theta$. Выбрав именно эти функции, в дальнейшем можно выбирать различные комбинации закрепления конуса. Дифференциальная система уравнений в основных функциях, описывающая напряженно-деформированное состояние токонесущих оболочек в магнитном поле при учете геометрической нелинейности и ортотропной электропроводности, разрешается относительно первой производной искомых функций по одной из координат. Предположим, что все компоненты возбужденного электромагнитного поля и поля перемещений, входящие в уравнения задачи магнитоупругости, не зависят от координаты θ , а также примем, что упругие и электромагнитомеханические характеристики материала оболочки не изменяются вдоль параллели. После некоторых преобразований [2] получим полную систему нелинейных дифференциальных уравнений магнитоупругости в форме Коши, которая описывает напряженно-деформированное состояние токонесущей ортотропной конической оболочки при нестационарном воздействии механического и магнитного полей:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial s} &= \frac{1 - \nu_s \nu_\theta}{e_s h} N_s - \frac{\nu_\theta \cos \varphi}{r} u - \frac{\nu_\theta \sin \varphi}{r} w - \frac{1}{2} \theta_s^2; & \frac{\partial w}{\partial s} &= -\theta_s; \\ \frac{\partial \theta_s}{\partial s} &= \frac{12(1 - \nu_s \nu_\theta)}{e_s h^3} M_s - \frac{\nu_\theta \cos \varphi}{r} \theta_s; \\ \frac{\partial N_s}{\partial s} &= \frac{\cos \varphi}{r} \left[\left(\nu_s \frac{e_\theta}{e_s} - 1 \right) N_s + e_\theta h \left(\frac{\cos \varphi}{r} u + \frac{\sin \varphi}{r} w \right) \right] - \\ &- P_s + h J_{\theta CT} B_\zeta - \sigma_1 h \left[E_\theta B_\zeta + 0.5 \frac{\partial w}{\partial t} B_\zeta (B_s^+ + B_s^-) - \frac{\partial u}{\partial t} B_\zeta^2 \right] + \rho h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial Q_s}{\partial s} &= -\frac{\cos \varphi}{r} Q_s + \nu_s \frac{e_\theta}{e_s} \frac{\sin \varphi}{r} N_s + e_\theta h \frac{\sin \varphi}{r} \left(\frac{\cos \varphi}{r} u + \frac{\sin \varphi}{r} w \right) - P_\zeta - \\ &- 0.5 h J_{\theta CT} (B_s^+ + B_s^-) - \sigma_3 h \left[-0.5 E_\theta (B_s^+ + B_s^-) - 0.25 \frac{\partial w}{\partial t} (B_s^+ + B_s^-)^2 - \right. \\ &\left. - \frac{1}{12} \frac{\partial w}{\partial t} (B_s^+ - B_s^-)^2 + 0.5 \frac{\partial u}{\partial t} B_\zeta (B_s^+ + B_s^-) + \frac{h}{12} \frac{\partial \theta_s}{\partial t} B_\zeta (B_s^+ + B_s^-) \right] + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M_s}{\partial s} &= \frac{\cos \varphi}{r} \left[\left(v_s \frac{e_\theta}{e_s} - 1 \right) M_s + \frac{e_\theta h^3 \cos \varphi}{12 r} \theta_s \right] + Q_s + N_s \theta_s - \\ &\quad - \frac{\sin \varphi}{r} \left(v_s \frac{e_\theta}{e_s} M_s + \frac{e_\theta h^3 \cos \varphi}{12 r} \theta_s \right) \theta_s + \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial t^2}; \\ \frac{\partial B_\zeta}{\partial s} &= -\sigma_2 \mu \left[E_\theta + 0.5 \frac{\partial w}{\partial t} (B_s^+ + B_s^-) - \frac{\partial u}{\partial t} B_\zeta \right] + \frac{B_s^+ - B_s^-}{h}; \quad \frac{\partial E_\theta}{\partial s} = -\frac{\partial B_\zeta}{\partial t} - \frac{\cos \varphi}{r} E_\theta. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь N_s – меридиональное усилие; Q_s – перерезывающее усилие; M_s – изгибающий момент; u, w – перемещение и прогиб; θ_s – угол поворота нормали; P_s, P_ζ – компоненты механической нагрузки; E_θ – окружная составляющая напряженности электрического поля; B_ζ – нормальная составляющая магнитной индукции; B_s^\pm – тангенциальные составляющие индукции магнитного поля на поверхностях оболочки; $J_{\theta cm}$ – составляющая плотности электрического тока от внешнего источника; e_s, e_θ – модули упругости по направлениям s, θ соответственно; v_s, v_θ – коэффициенты Пуассона, характеризующие поперечное сжатие при растяжении в направлении осей координат; μ – магнитная проницаемость; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные компоненты тензора удельной электропроводности. Компоненты пондеромоторной силы Лоренца включают нелинейные члены, обусловленные учетом перемещений оболочки при ее деформировании.

Методика решения нелинейных задач. Методика решения нелинейной задачи магнитоупругости токонесящей ортотропной оболочки вращения основана на последовательном использовании схемы Ньюмарка, метода квазилинеаризации и метода дискретной ортогонализации [2 – 6]. Для разделения переменных по временной координате применяем неявную схему Ньюмарка, с помощью которой нелинейная краевая задача сводится к последовательности нелинейных одномерных краевых задач на каждом временном шаге. Следующий этап решения последовательности нелинейных краевых задач магнитоупругости основан на применении метода квазилинеаризации, с помощью которого нелинейная краевая задача сводится к последовательности линейных краевых задач. Далее каждую из линейных краевых задач последовательности на соответствующем временном интервале решаем численно с помощью устойчивого метода дискретной ортогонализации.

Числовой пример. Анализ результатов. В качестве примера рассматриваем гибкую токонесящую бороалюминиевую коническую оболочку, находящуюся во внешнем магнитном поле $B_{s0}=0.1$ Тл под действием нормальной поверхностной нагрузки $P_\zeta=5 \cdot 10^3 \sin \omega t$ Н/м². К контурам оболочки подводится сторонний электрический ток плотностью $J_{\theta CT} = -5 \cdot 10^5 \sin \omega t$ А/м². Оболочка также имеет конечную ортотропную электропроводность σ ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$). Считаем, что сторонний электрический ток в невозмущенном состоянии равномерно распределен по оболочке, т.е. плотность стороннего тока не зависит от координат. В этом случае на оболочку действует комбинированное нагружение, состоящее из пондеромоторной силы Лоренца и механической силы.

В этом случае граничные условия запишем в виде

$$\begin{aligned} u = 0, \quad Q_s = -200, \quad M_s = 0, \quad B_\zeta = 0.3 \sin \omega t \quad \text{при} \quad s = s_0 = 0; \\ u = w = 0, \quad \theta_s = 0, \quad B_\zeta = 0 \quad \text{при} \quad s = s_N = 0.4 \text{ м.} \end{aligned} \quad (2)$$

Начальные условия принимают вид

$$\vec{N}(s, t) \Big|_{t=0} = 0, \quad \dot{u}(s, t) \Big|_{t=0} = 0, \quad \dot{w}(s, t) \Big|_{t=0} = 0. \quad (3)$$

При решении задачи параметры принимают следующие значения: $s_0=0, s_N=0.4$ м, $h=5 \cdot 10^{-4}$ м, $r=r_0+s \cos \varphi$; $r_0=0.4$ м, $\omega=314.16$ с⁻¹, $\rho=2600$ кг/м³, $\sigma_1=0.454 \cdot 10^8$ (Ом·м)⁻¹, $\sigma_2=0.454 \cdot 10^8$ (Ом·м)⁻¹, $\sigma_3=0.2 \cdot 10^8$ (Ом·м)⁻¹, $\mu=1.256 \cdot 10^{-6}$ Гн/м, $v_s=0.262, v_\theta=0.32, \varphi=\pi/15, J_{\theta CT} = -5 \cdot 10^5 \sin \omega t$ А/м², $B_{s0}=0.1$ Тл, $P_\zeta=5 \cdot 10^3 \sin \omega t$ Н/м², $B_s^+ = B_s^- = 0.1$ Тл, $e_s=22.9 \cdot 10^{10}$ Н/м², $e_\theta=10.7 \cdot 10^{10}$ Н/м², $\Delta t=10^{-3}$ с, $0 \leq t \leq 10^{-2}$ с.

Исследованы напряженно-деформированные состояния гибких оболочек в нелинейной постановке на основе сравнения результатов решений, полученных для токонесящего ортотроп-

ного конуса из бериллия и токонесящего изотропного конуса из алюминия, а также для изотропного конуса из алюминия при отсутствии магнитного поля и стороннего тока.

На рис. 1 показано распределение прогиба по “ s ” при $t=5 \cdot 10^{-3}$ с. Результаты вычислений приведены для вариантов: 1– токонесящий изотропный конус из алюминия; 2– изотропный конус из алюминия при отсутствии магнитного поля и стороннего тока; 3 – токонесящий ортотропный конус из бериллия.

Из графиков видно, что во всех трех случаях распределение прогиба нелинейное ($1 \leq w/h_0 \leq 5$). В случае ортотропного конуса из бериллия и изотропного конуса из алюминия с учетом магнитного поля максимальные нелинейные значения прогибов близки на левом торце оболочки. В то же время наблюдается различие между значениями прогиба для ортотропного и изотропного материала конической оболочки по мере удаления от торцов. Выявлено, что при отсутствии магнитного и электрического полей прогиб существенно возрастает ($w/h_0=4$).

Это объясняется тем, что при отсутствии электрического поля, действующего на оболочку, растягивающие силы $B_s^\pm = 0$ и $\rho F_s^\wedge = 0$. В этом случае оболочка становится более податливой относительно прогиба (более гибкой), т.е. отсутствуют удерживающие прогиб оболочки силы электромагнитных полей. Кроме того, перерезывающее усилие Q_s и нормальная составляющая магнитной индукции B_z противоположно направлены на левом торце оболочки. Отсутствие магнитного поля $B_z=0$ также приводит к увеличению прогиба.

На рис. 2 а, б показаны распределения максимальных значений напряжений $\sigma_{22}^+(s) + T_{22}^+(s)$ и меридионального изгибающего момента M_s вдоль меридиана оболочки в момент времени $t=5 \cdot 10^{-3}$ с для всех вариантов: 1 – токонесящий ортотропный конус из бериллия; 2 – токонесящий изотропный конус из алюминия; 3 – изотропный конус из алюминия при отсутствии магнитного поля и стороннего тока. Отметим, что при решении задачи напряжение конической оболочки рассматривалось как сумма механических напряжений и напряжений Максвелла, т.е. учитывалось общее напряженное состояние.

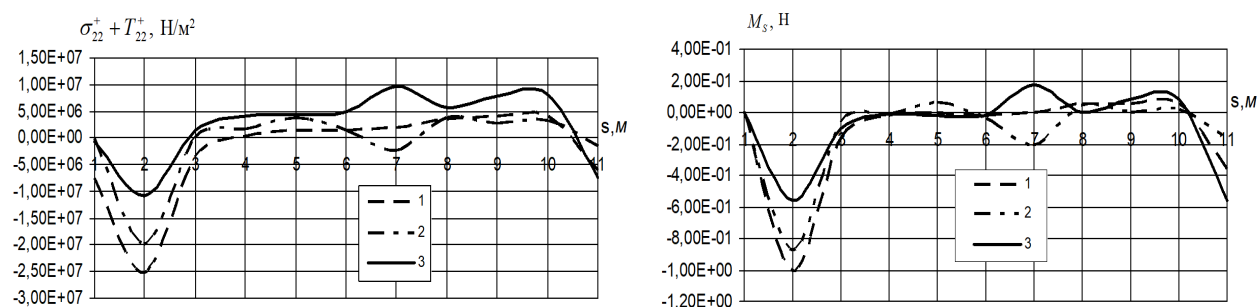


Рис. 2. Распределения $\sigma_{22}^+ + T_{22}^+$ (а) и $M(s)$ (б) при $t=5 \cdot 10^{-3}$ с для всех вариантов:

1 – ортотропного конуса из бериллия; 2 – изотропного конуса из алюминия;
3 – изотропного конуса из алюминия при отсутствии магнитного поля и стороннего тока

Из приведенных кривых видно, что картина распределения изменения напряжений и изгибающего момента отличается количественно и качественно. На отрезке $0.08 \text{ м} < s < 0.4 \text{ м}$ наблюдается противофазное распределение напряжений и изгибающего момента. Максимальные их значения возникают около левого сечения оболочки при $s=0.04 \text{ м}$. При этом при наличии магнитного поля и стороннего тока и их отсутствии значения напряжений и изгибающего момента отличаются в 1.5 раза.

Полученные результаты свидетельствуют о влиянии ортотропной электропроводности, стороннего электрического тока и внешнего магнитного поля на напряженно-деформированное состояние оболочки, а учет геометрической нелинейности позволяет существенно уточнить картину деформирования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мольченко Л.В., Лосс И.И., Индиаминов Р.Ш. Магнітопружність конічної оболонки з врахуванням ортотропної електропровідності в геометрично нелінійній постановке // Вісник Київського Університету. Серія: фізико-математичні науки. Вип. 2. 2007. С. 85 – 90.
- [2] Indiaminov R.Sh., Mol`chenko L.V., Loss. I. I. Determining the Stress State of Flexible Orthotropic Shells of Revolution in Magnetic Field // International Applied Mechanics. Vol. 44. 2008. No. 8. P. 882 – 891.
- [3] Indiaminov R.Sh. On the absence of the tangential projection of the Lorenz force on the ax symmetrical stressed state of current-carrying conic shells // International Journal Computational Technologies. Vol.13. 2008. N. 6. P. 65 – 77.
- [4] Indiaminov R. Magnetoelastic deformation of a current-carrying orthotropic conical shell with an ortotropiya of the carrying-out properties // Bulletin of the University of Kiev. Series: Physics & Mathematics. 2015. N. 5. P. 81 – 86.
- [5] Indiaminov R., Hotamov A., Akhmedov F. Magnetoelastic deformation of the current carrying shells with the orthotropy of conductive properties // International Journal of Engineering Innovation & Research. Vol. 5. Issue 6. India, 2016.
- [6] Индиаминов Р., Наркулов А., Саидкулов Э. Магнитоупругое деформирование тонких оболочек в магнитном поле // Международный научный журнал «Инновационная наука». Уфа, Россия, 2017. С. 15 – 20.

Самаркандский филиал
Ташкентского университета информационных технологий

Дата поступления
30.04.2018

Р.Ш. Индиаминов, А.С. Наркулов. Масала чизиклимас қўйилганда тоқташувчи ортотроп қобикқиниң деформацияланишини тадқиқ қилиш

Мақолада магнит майдонида жойлашган юққа тоқташувчи ортотроп конуссимон қобикқ мисолида масала чизиклимас қўйилганда юққа ортотроп қобикқиниң кучланганлик деформацияланганлик ҳолатини аниқлашда чизиклимасликниң таъсирини ҳисобга олишни текиширишга бағишланган.

R. Sh. Indiaminov, A.S. Narkulov. Research of deformation of the current carrying orthotropic shell in nonlinear statement

Nonlinear deformation of current-carrying orthotropic conic shells in the magnetic field is studied in axisymmetric statement. Consideration of nonlinearity is studied for its effect when determining stressed state of current-carrying orthotropic shells in geometrically nonlinear statement.

УДК 699.841

В.А. ЛАПИН, С.Е. ЕРЖАНОВ, В.П. ДАУГАВЕТ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТА СЕЙСМОИЗОЛЯЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ЗАПИСЕЙ СТАНЦИЙ ИНЖЕНЕРНО-СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

Вопросы применения, расчета и проектирования зданий с различными системами сейсмоизолирующих конструкций, а также оценка эффекта сейсмоизоляции надфундаментных конструкций в условиях реального сейсмического воздействия по-прежнему остаются актуальными. Немаловажным является вопрос о долговечности и надежности элементов сейсмоизолирующих систем. Последний вопрос может быть исследован только на значительном интервале времени наблюдения за сейсмоизолированным домом. Приведем результаты таких исследований.

В Республике Казахстан используются несколько типов сейсмоизолирующих фундаментов – кинематические фундаменты [1 – 4], фундаменты с прокладками из фторопласта [5 – 6], фрикционные со сферическими поверхностями скольжения [7], а также комбинированные опоры итальянской фирмы «FIP INDUSTRIALE» [7]. Отметим также на уровне предложения применение платформенного робота SHOLCOR в системе активной сейсмозащиты здания [8].

В [9] с помощью измерительного оборудования «ZETLAB» на моделях испытывались различные системы сейсмоизоляции. Испытания не показали новых результатов, но вызвали интерес у молодых ученых – магистрантов и докторантов.

АО «КазНИИСА» располагает сетью инженерно-сейсмометрических станций на зданиях: 10 станций в г. Алматы, 1 – в г. Таразе, 1 – в г. Капшагае, инструментальные данные которой позволяют объективно оценивать поведение зданий различных конструктивных решений в условиях реального сейсмического воздействия.

Остаются актуальными вопросы исследования поведения зданий, оснащенных различными системами сейсмозащиты, в условиях реальных сейсмических воздействий.

В АО «КазНИИСА» такие исследования по оценке эффективности систем сейсмоизоляции различных типов выполняются на постоянно действующем специальном полигоне. В 1989 г. на трех построенных домах с одинаковой надфундаментной частью (9-этажные крупнопанельные дома серии 158), но различными фундаментами: обычными ленточными с системой перекрестных лент, сейсмоизолирующими кинематическими [1 – 3] и опорами с прокладками из фторопласта, были установлены станции инженерно-сейсмометрической службы.

Кинематические фундаменты как средство сейсмоизоляции крупнопанельных и каркасно-кирпичных зданий получили значительное распространение в Российской Федерации (РФ) и Республике Казахстан. С их применением в РФ построено свыше 300 зданий в городах Иркутск, Новокузнецк, Усолье Сибирское, Шелехов, Северо-Байкальск, Тында, Южно-Сахалинск, Петропавловск-Камчатский и т.д. В Республике Казахстан в г.Алматы на кинематических фундаментах построено свыше 20 домов и 1 в г.Шымкент.

Система сейсмоизоляции в виде опоры с прокладками из фторопласта связана с именами Т.Ж. Жунусова, Ю.Г. Шахновича, И.Г. Горовица [5 – 6], была разработана и экспериментально исследована институтами «ЦНИИпромзданий» и «КазпромстройНИИпроект». Эта система первоначально предложена для железобетонных каркасных зданий. Она выполняется с наклонными плоскостями контактирующих поверхностей с использованием пленки из фторопласта - 4.

Типовое здание представляет собой крупнопанельный жилой дом серии 158, одноподъездную блок-секцию. Габариты здания: длина – 17.4 м, ширина – 12.9 м, высота – 31.5 м. Здание имеет 9 этажей высотой 3 м каждый с дополнительным техническим подпольем и полупроходным чердаком. На здании с кинематическими фундаментами (КФ) последние опираются на перекрестную ленту в местах пересечения стен. Глубина заложения – 3.8 м.

Каждое здание запроектировано для районов сейсмичностью в 9 баллов.

Грунтовые условия на площадке строительства – валуногалечники 2-й категории по сейсмическим свойствам. Уровень грунтовых вод – 20 м.

Следует отметить, что в 1988 г. все 3 здания были испытаны с помощью мощной вибрационной машины инерционного действия В-3 [1 – 3, 5, 6]. Вибромашина устанавливалась в уровне 9-го этажа. В испытаниях замерялись горизонтальные смещения и ускорения в уровне всех перекрытий и фундаментов. Были определены диаграммы деформирования как в уровне перекрытия, так и фундаментов. Экспериментальные данные получены для всех указанных выше зданий.

Показано, что в здании-аналоге имели место необратимые изменения периода колебаний, который увеличивался с возрастанием возмущающей силы. Период колебания увеличился в 1.75 раза. При последующем уменьшении возмущающей силы период колебаний практически не изменился. Это свидетельствовало о необратимых изменениях в системе «здание – грунт». Деформации этажей здания носили, в основном, сдвиговый характер.

В зданиях с сейсмоизолирующими фундаментами необратимые изменения периода колебаний не были замечены. Это говорит о нелинейно упругой работе сейсмоизолированных зданий.

После проведения комплекса динамических испытаний академиком Т.Ж. Жунусовым было решено продолжить экспериментальные исследования на широком временном интервале путем установки сейсмостанций.

Все дома были оснащены станциями инженерно-сейсмометрической службы, получившими номера, соответственно, №20, 21, 22. На здании с КФ оборудовано 5 измерительных пунктов (1-, 4-, 7-, 9-й этажи и подвал).

Инструментальные записи землетрясений являются объективной информацией для оценки качества систем сейсмоизоляции с учетом текущей эксплуатации и технического состояния домов.

Записи ускорений выполняются аналоговыми приборами ОСП, смещений – ВВП. Инструментальные данные записываются на фотобумагу. Понятно, что оцифровка инструменталь-

ных записей выполняется вручную.

В [10] приведены результаты анализа инструментальных записей, зарегистрированных при землетрясении 31 мая 2012 г. интенсивностью 4 – 5 баллов, на станциях № 21 и № 22. Однако на доме-аналоге (станция № 20) удовлетворительные записи не были получены.

16 августа 2014 г. в 03 ч 42 мин. сетью сейсмических станций ГУ «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан» зарегистрировано землетрясение. Эпицентр был расположен в 41 км на восток от г. Алматы с координатами 43°30' с.ш. и 77°40' в.д., энергетическим классом $K=12.0$, магнитудой $M_{PV}=5,2$, глубиной 5 км. Подземные толчки ощущались в г. Алматы в 4 – 5 баллов по шкале $MSK-64$.

На сейсмостанциях №20,21,22, расположенных в 9-этажных крупнопанельных зданиях серии 158 с фундаментами трех типов, были получены инструментальные записи указанного землетрясения. Эти инструментальные записи образовали очень удобную для изучения выборку из 10 акселерограмм – они получены на доме-аналоге и двух зданиях с сейсмоизолирующими фундаментами. Выборка весьма информативная, позволяющая оценить влияние конструктивного решения фундаментов на реакцию крупнопанельных зданий 158 серии. В [11] выполнен анализ сейсмоизолирующих свойств зданий с применением классического спектрального метода. Максимальные величины спектрального коэффициента β для сейсмоизолируемых зданий в уровне 9-го этажа меньше аналогичной величины для здания-аналога: для зданий с фторопластовыми прокладками (ФТ) – на 11 %, для зданий с КФ – на 63 %. Анализ сейсмоизолирующих свойств в данной работе выполнен по величинам спектральных ускорений.

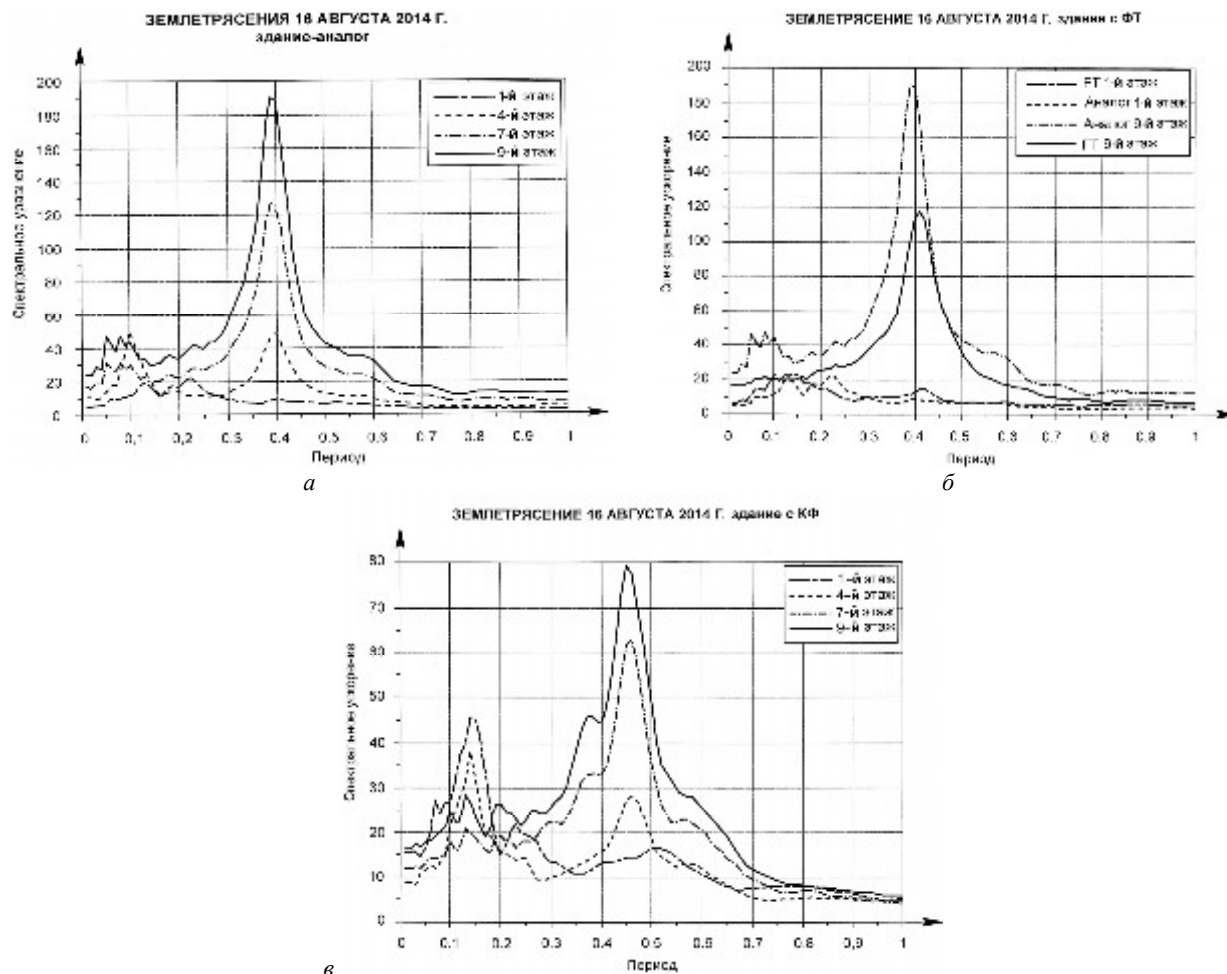
Все акселерограммы записаны по поперечной оси здания. В Еврокоде 8 для определения сейсмических сил используются величины спектральных ускорений, поэтому вместо классических спектральных кривых β для каждой из записанных акселерограмм при величине декремента колебания 0.314 будем определять размерные спектральные ускорения. В таблице приведены параметры записанных акселерограмм на доме-аналоге и зданиях с сейсмоизолирующими фундаментами двух типов. В скобках приведены значения спектрального ускорения 2-го пика. Величины спектральных ускорений определялись с помощью решателей системы компьютерной математики SCILAB.

Максимальные величины ускорений и параметры акселерограмм

Инструментальная запись	Ускорение, см/с ²	Эффективная длительность, с	Спектральное ускорение, см/с ²	Период максимума спектра, с
Здание-аналог с ленточными фундаментами, станция № 20				
89-А-1-1х, фундамент	5.12	6.38	21.88	0.22
89-А-4-4х, 4-й этаж	10.59	10.75	50.64(48.21)	0.10(0.40)
89-А-7-7х, 7-й этаж	16.01	10.45	126.63	0.39
89-А-9-9х, 9-й этаж	24.07	10.45	190.34	0.39
Здание с КФ, станция № 21				
89-КФ-1-1х, фундамент	15.08	1.60	45.76	0.14
89-КФ-4-4х, 4-й этаж	8.53	2.81	38.72	0.14
89-КФ-7-7х, 7-й этаж	11.88	14.04	63.23	0.46
89-КФ-9-9х, 9-й этаж	16.38	4.16	79.45	0.45
Здание с ФТ, станция № 22				
89-ФТ-1-1х, фундамент	6.48	8.57	22.95	0.14
89-ФТ-9-9х, 9-й этаж	16.41	7.81	117.34	0.41

На рисунке приведены графики спектральных ускорений для поэтажных акселерограмм соответственно для дома-аналога, здания с фторопластовыми прокладками и здания на КФ. Визуально наблюдается снижение величин спектральных ускорений для зданий с сейсмоизолируемыми фундаментами.

Можно отметить, что здание-аналог деформируется по классической одномассовой схеме с равномерным нарастанием ускорений по высоте здания. Эффективные длительности воздействия в ярусах с 4-го по 9-й практически одинаковые.



Спектральные ускорения поэтажных акселерограмм: а – для здания-аналога; б – для здания с ФТ; в – для здания с КФ

Выводы. 1. Здание на ленточном фундаменте работает по классической модели с пропорциональным возрастанием поэтажных ускорений к последнему этажу.

2. Величины ускорения в уровне 9-го этажа в сейсмоизолируемых зданиях меньше на 47% аналогичной величины в здании на ленточном фундаменте. Величины ускорения в уровне 9-го этажа на сейсмоизолируемых зданиях при этом совпадают.

3. Максимальные величины спектрального ускорения для сейсмоизолируемых зданий в уровне 9-го этажа меньше аналогичной величины для ФТ в 1.62 раза, для КФ – в 2.4.

4. Эффект снижения сейсмических сил в сейсмоизолированных зданиях имеет место – выводы работы [11] подтверждаются.

5. По величинам спектральных ускорений эффект сейсмоизоляции более значительный, чем по значениям спектральных кривых β [11]. Применение сейсмоизоляции способствует повышению безопасности сейсмоизолируемых зданий.

6. Установлена долговечность элементов сейсмоизолирующих систем за 30 лет эксплуатации зданий. Не замечены какие-либо необратимые изменения физико-механических свойств элементов фундаментов. Не оправдались предположения о возможном течении фторопластового слоя под нагрузкой, а также о существенном увеличении зон пластического смятия в паре «сферическое тело – опорная поверхность» кинематического фундамента.

7. Полигон АО «КазНИИСА» в г.Алматы, состоящий из 3-х однотипных зданий с различными конструкциями фундаментов, является уникальным испытательным средством, позволяющим оценивать эффекты сейсмоизоляции в условиях реальных сейсмических воздействий.

По ныне действующей Карте сейсмического зонирования Республики Казахстан медианные значения прогнозируемых ускорений на грунте в г. Алматы составляют 0.38g при повторяемости землетрясений 1 раз в 475 лет и 0.73g – при 1 разе в 2475 лет.

8. Можно рекомендовать применение систем сейсмоизоляции с использованием кинематических фундаментов и опор с фторопластовыми прокладками в сейсмостойком строительстве.

Исследования выполнялись с использованием средств гранта АР 05130702 Министерства образования и науки Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Черепинский Ю. Д., Лапин В. А. Основы сейсмоизоляции в строительстве. Иркутск: «Элит», 1995. – 204 с.
- [2] Черепинский Ю. Д. Экспериментальные исследования, расчетно-теоретический анализ и внедрение в строительство сейсмоизолирующих конструктивных систем КФ: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Новосибирск, 1998. – 46 с.
- [3] Черепинский Ю. Д. Сейсмоизоляция жилых зданий. Алматы: КазГАСА, 2003. – 157 с.
- [4] Ким Б. Н. Система сборного безригельного каркаса на кинематических фундаментах // Сб. трудов Международной научно-практической конференции «Новые строительные тренды в XXI веке». Секция «Сейсмостойкое строительство и инженерная сейсмология». Алматы, 2017. С. 120 – 125.
- [5] Жунусов Т. Ж., Шахнович Ю. Г., Горовиц И. Г., Королев А. Н. Экспериментальные исследования железобетонного каркаса с безбалочными перекрытиями // Экспресс-информация. ВНИИИС. Серия 14. Вып. 7. 1984. С. 15 – 20.
- [6] Жунусов Т. Ж., Шахнович Ю. Г., Горовиц И. Г., Королев А. Н. Определение параметров сейсмоизолирующей опорной конструкции со скользящими прокладками из фторопласта // Сб. «Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций». Вып. 25(35). 2017. С. 90 – 99.
- [7] Ержанов С. Е., Лапин В. А. Системы сейсмоизоляции зданий и сооружений в Республике Казахстан и развитых странах мира // Сб. «Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций». Вып. 23(33). 2015. С. 164 – 192.
- [8] Шоланов К. С., Абжапаров К. А. Робот SHOLCOR в качестве активной опоры для системы активной сейсмозащиты // Сб. трудов Международной научно-практической конференции «Новые строительные тренды в XXI веке». Секция «Сейсмостойкое строительство и инженерная сейсмология». Алматы, 2017. С. 110 – 114.
- [9] Хомяков В. А., Забаков А. А. Вопросы сейсмоизоляции зданий применением фундаментов различных типов // В сб. трудов Международной научно-практической конференции «Новые строительные тренды в XXI веке». Секция «Сейсмостойкое строительство и инженерная сейсмология». Алматы, 2017. С. 91 – 96.
- [10] Ержанов С. Е., Лапин В. А., Даугавет В. П. Исследование динамики сейсмоизолированного дома с помощью станций инженерно-сейсмометрической службы // Сб. трудов Международной научно-практической конференции «Новые строительные тренды в XXI веке». Алматы, 2017. С. 82 – 89.
- [11] Лапин В. А., Ержанов С. Е., Даугавет В. П. Изучение динамики сейсмоизолированных зданий с помощью станций инженерно-сейсмометрической службы // Техногенные и природные риски. Безопасность сооружений. Вып. 6. 2017. С. 33 – 34.

АО «КазНИИСА»

Дата поступления
18.12.2018

В.А. Лапин, С.Е. Ержанов, В.П. Даугавет. Мұхандислик-сейсмометрик хизмати станциясининг инструменталь ёзувларидан фойдаланиб сейсмоизоляция эффектини солиштирма тахлили

2014 йил 16 августдаги zilзилада аналог-бино ва иккита сейсмик ҳимояланган биноларда инструменталь ёзувлари олинган. Ўзарокесишувчи тизимли оддий тасмали, кинематик сейсмик ҳимояланган ва фторопласт ётқизилган пойдеворли биноларга мұхандислик-сейсмометрик хизмати станцияси ўрнатилган. Ўнта реал акселерограммлар учун спектрал тезланиш аниқланган. Кинематик пойдеворли бинодек, асоси фторопласт бўлган пойдеворли бинодаги спектрал тезланишлар катталигининг камайиши кўрсатиб ўтилган. 30 йил давомида фойдаланилаётган сейсмик ҳимоялаш тизимли бино элементларида деформацияларида ва мустаҳкамлик ҳарактеристикаларида кўринадиган ўзгаришлар кузатилмаган.

V.A. Lapin, S.E. Erzhanov, V.P. Daugavet. Comparative analysis of the effect of seismic isolation using instrumental records of the stations of the engineering seismometric service

Instrumental records were obtained in the earthquake of August 16, 2014 on an analogous building and two seismically isolated buildings. Buildings with conventional tape with a system of cross-strips, seismic insulating kinematic and supports with fluoroplastic gaskets. Were installed stations of the engineering seismometric service. For ten real accelerograms, spectral accelerations are determined. It has been established that there is a reduction in the values of spectral accelerations for a building with kinematic foundations, and for a building with supports based on fluoroplastic. There is no noticeable change in the deformation and strength characteristics of elements of seismic isolation systems for 30 years of building operation.

Т.Р. РАШИДОВ, Б. МАРДОНОВ, И. МИРЗАЕВ

О КОЛЕБАНИЯХ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Исследование динамических процессов в подземных сооружениях, происходящих вследствие воздействия на них сейсмических волн, можно проводить с использованием гипотез, уравнений и методов механики деформируемого твердого тела. На подземное сооружение, расположенное вблизи от поверхности земли и на определенном расстоянии от эпицентра землетрясения, воздействует волна Рэлея, которая приводит в движение приповерхностный слой земли с экспоненциальным затуханием амплитуды волны по глубине и слабым затуханием её с расстоянием от эпицентра землетрясения. На современном этапе развития вычислительных методов и при наличии мощных компьютеров имеется возможность решения задач в трехмерной постановке в ограниченном пространстве и с условиями на границах расчетной области неотражения волн. Однако сейсмические волны имеют сложный характер, они не стационарны, отличаются спектром частот и максимальными амплитудами колебаний, а также длительностью воздействия (от десятков секунд до нескольких минут). Получение результатов решения и их анализ на основе нескольких реальных или искусственных записей землетрясений требует огромных ресурсов. Поэтому, исходя из определенных предположений, уместных для рассматриваемых случаев, целесообразно упрощать размерность задачи и методы их решения. Подземные трубопроводы и тоннели метрополитена имеют характерные размеры, в удлиненном направлении их размер намного превышает размеры в поперечном направлении. С другой стороны, характерные длины отдельных периодов колебаний сейсмических волн от землетрясений, несущих основную часть энергии, намного превышают поперечные размеры сооружения. В этом случае есть основание принять, что поперечное сечение сооружения мгновенно охватывается внешним воздействием в рассматриваемый момент времени, и тогда сооружение в поперечном сечении испытывает деформации от внешнего воздействия без учета относительного ускорения. Это даёт возможность перейти к одномерной математической модели сооружения.

В исследованиях продольных колебаний трубопровода [1] внешнюю среду заменяют безынерционным вязкоупругим элементом, а коэффициенты взаимодействия определяют из лабораторных экспериментов. Уравнение движения трубопровода для продольных колебаний по модели упругого стержня имеет вид [1, 2]

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - EF \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \pi D \left[k_x (u - u_0) + \eta_x \left(\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial u_0}{\partial t} \right) \right] = 0,$$

где u – осевое перемещение трубы; m – масса на единицу длины; E – модуль Юнга материала трубы; $F = \frac{\pi}{4} (D^2 - (D - s)^2)$ – площадь поперечного сечения трубы (s и D – толщина и внешний диаметр трубы соответственно); u_0 – перемещение грунта по оси трубы; k_x – коэффициент упругого взаимодействия в системе «труба – грунт», который зависит от свойств грунта, способа укладки, давления, в том числе динамического, грунта трубопроводу [1]; η_x – коэффициент вязкого взаимодействия в системе «труба – грунт». В этом уравнении имеется член, характеризующий упругое взаимодействие, и член, описывающий волновой обмен энергией между трубопроводом и внешней средой.

Рассмотрим задачу, когда границы свободны от напряжений, а начальные условия нулевые. В качестве внешнего воздействия возьмем распространение продольной волны в грунте со скоростью c_g , перемещение $u_0(t - x/c_g)$ имеет вид полуволны синуса. Уравнение в частных производных имеет гиперболический тип и описывает распространение волн, а также продольные колебательные процессы трубопровода. Процессы распространения волн называют переходными процессами, так как эти процессы в телах ограниченных размеров по истечении короткого времени превращаются в колебательные движения. На примерах рассмотрим, для каких соотношений длины трубопровода и длины импульса имеет смысл рассматривать волновые процессы, когда явно

можно выделять отдельные волны или достаточно исследовать колебательные движения.

Рассмотрим стальную трубу с характеристиками: $D=0.61\text{ м}$; $s=0.01\text{ м}$; $c_T=5000\text{ м/с}$ – скорость распространения волны; $L=1000\text{ м}$ – длина трубы; $\rho=7800\text{ кг/м}^3$. Характеристики грунта взяты из [1 – 4]: $k_x=1.0 \cdot 10^4\text{ кН/м}^3$; $\eta_x=100\text{ кН}\cdot\text{с/м}^2$; $c_g=1000\text{ м/с}$; $T=0.1\text{ с}$ – время действия импульса; $A=0.004\text{ м}$ – амплитуда импульса.

Задачи решались явным методом конечных разностей с предельным условием устойчивости Куранта $\Delta x=c_T\Delta t$, чтобы обеспечить достаточную точность поля деформации вблизи фронтов волн [5]. Перед аппроксимацией конечными разностями уравнение движения преобразовывается в уравнение в скоростях и деформациях. Вычисления проводились с шагом $\Delta t=0.0001\text{ с}$. Приведем график изменения деформации по длине трубопровода (рис. 1).

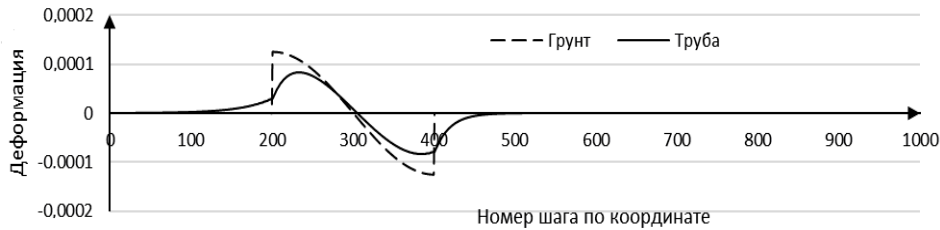


Рис. 1. Деформации грунта и трубопровода в момент времени $t=0.2\text{ с}$ при наличии вязкости взаимодействия

Сформированная волна деформации в трубопроводе в случае упругого взаимодействия трубопровода с грунтом имеет симметричную форму и до достижения правого торца трубопровода она сохраняет свою форму. В момент времени $t=0.2\text{ с}$ возмущение, возникшее вблизи от левого торца трубопровода, достигает правого его торца, но по сравнению с максимальной амплитудой волны деформации в грунте амплитуды деформации вне основной сформированной волны очень малы.

При учете вязкости взаимодействия длина волны деформации увеличивается, при этом возмущение на участке перед разрывным фронтом волны деформации в грунте имеет меньшую длину, а за задним фронтом – большую длину (рис. 2). Так же сформированная волна сохраняет свою форму. Если из-за граничных условий в трубопроводе возникают разрывы деформации, тогда учет вязкости взаимодействия приводит к их быстрому затуханию.

Теперь рассмотрим вязкоупругое взаимодействие трубопровода длиной 50м, другие исходные данные, как в предыдущем примере.

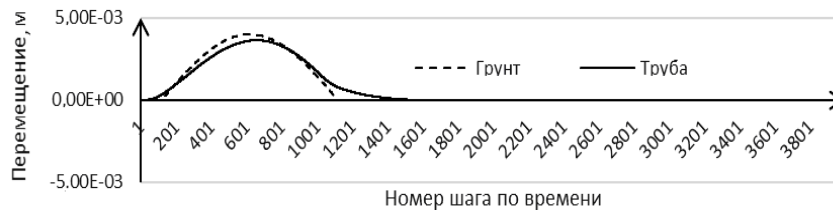


Рис. 2. Перемещения грунта и точки $x=12.5\text{ м}$ трубопровода по времени при наличии вязкости взаимодействия

По истечении 0.1 с времени импульс полностью охватывает трубопровод, а после времени $t=0.15\text{ с}$ воздействие импульса завершается, перемещение трубопровода постепенно убывает и далее колеблется с затухающей амплитудой (см. рис. 2).

Рассмотрим этот же пример при синусоидальном воздействии.

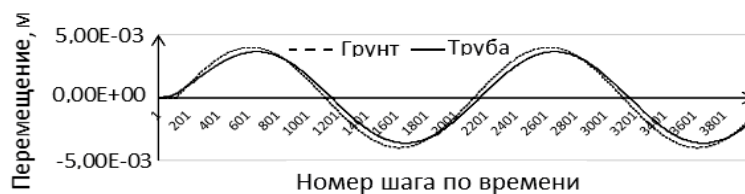


Рис. 3. Перемещения грунта и точки $x=12.5\text{ м}$ трубопровода по времени при наличии вязкости взаимодействия

На рис. 3 видно, как вовлекается в движение трубопровод при действии волны синусоидальной формы, точки трубопровода с некоторым запозданием и меньшей амплитудой повторяют движение грунта. Только в начале процесса можно заметить приход волны, затем движение точек трубопровода носит колебательный характер. Рассмотренные выше примеры показывают, что оценку деформации (напряжения) уместно проводить решением стационарных задач [1, 6].

В случае использования неявной конечно-разностной схемы на соотношение шагов по координате и времени ограничение не ставится, но для обеспечения точности вычислений необходимо требовать выполнение условия $\Delta t \leq \frac{T_0}{20}$, где T_0 – период составляющей сейсмической волны, имеющей достаточное влияние на напряженно-деформированное состояние подземной конструкции. Оптимальное значение Δt определяется проведением вычислительного эксперимента, в процессе которого сравниваются результаты вычислений для разных значений Δt [7]. Решение задачи о действии импульса на трубопровод показало, что при $\Delta t=0.01$ с результаты явного и неявного методов совпадают с большой точностью, когда в трубопроводе не возникают разрывные фронты волны деформации.

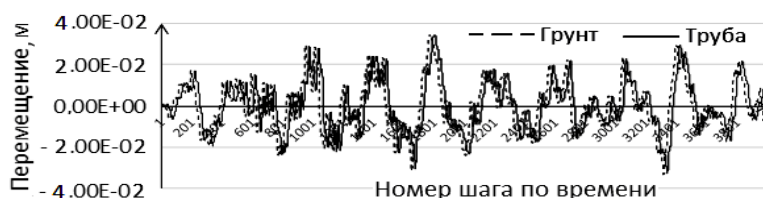


Рис. 4. Перемещения грунта в точке $x=0$ м и трубопровода в точке $x=250$ м по времени от 0 до 40 с при наличии вязкости взаимодействия

На рис. 4 показано изменение перемещения по времени от воздействия сейсмической волны, распространяющейся в грунте, которая задана оцифрованной записью компоненты NS сейсмограммы Чилийского землетрясения 27 февраля 2010 г. магнитудой 8.8 (the University of Chile). Максимальные ускорение, скорость и перемещение составляют соответственно 916.625 см/с^2 , 34.253 см/с , 3.445 см .

Максимальное перемещение середины трубопровода, полученное вычислениями, составило 3.406 см . Перемещение поперечного сечения трубопровода повторяет движение грунта с незначительным изменением, так как заданная сейсмическая волна является длинноволновой и успеваеет вовлечь в движение частиц трубопровода.

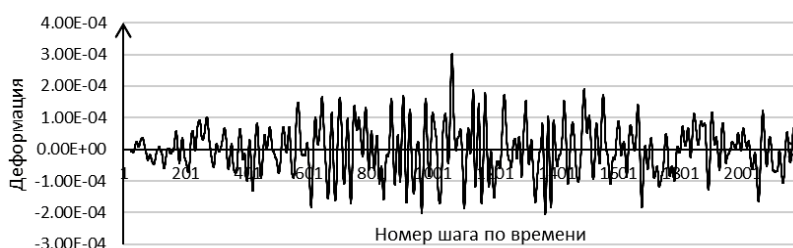


Рис.5. Деформация трубопровода в точке $x=250$ м по времени от 0 до 22 с при наличии вязкости взаимодействия

Максимальная (пиковая) деформация $\varepsilon_{\text{пик}}=3.0 \cdot 10^{-4}$, возникающая в момент времени 11с от начала процесса, очень быстро уменьшается, а деформация в пределах $\varepsilon_{\text{max}}=1.5 \cdot 10^{-4} - 2.0 \cdot 10^{-4}$ наблюдается в большом количестве (рис. 5), которая, возможно, может привести к усталостному разрушению стального трубопровода. Уменьшение коэффициента упругого взаимодействия в два раза привело к $\varepsilon_{\text{пик}}=2.82 \cdot 10^{-4}$ и $\varepsilon_{\text{max}}=1.3 \cdot 10^{-4} - 1.8 \cdot 10^{-4}$. Увеличение этого коэффициента в 4 раза, т.е. при $k_x=4.0 \cdot 10^4 \text{ кН/м}^3$, получаем $\varepsilon_{\text{пик}}=3.29 \cdot 10^{-4}$ и $\varepsilon_{\text{max}}=2.0 \cdot 10^{-4} - 2.18 \cdot 10^{-4}$. Уменьшение скорости распространения волны в грунте в два раза при $k_x=1.0 \cdot 10^4 \text{ кН/м}^3$ привело к следующим результатам: $\varepsilon_{\text{пик}}=4.96 \cdot 10^{-4}$ и $\varepsilon_{\text{max}}=3.0 \cdot 10^{-4} - 3.3 \cdot 10^{-4}$.

Далее рассмотрим стационарную задачу о действии поверхностной волны Релея на подземный трубопровод. В работе [6] исследованы связанные стационарные движения и колебания

системы грунт – трубопровод при распространении продольной сейсмической волны вдоль трубопровода. Установлено, что максимальное напряжение в трубопроводе существенно зависит от отношения скорости распространения сейсмической волны к скорости продольной волны в теле трубопровода, названного числом Маха, характера взаимодействия трубопровода и окружающей его среды. В работе [8] рассмотрены механизмы взаимодействия одиночного и системы непрерывно соединенных цилиндрических трубопроводов с поверхностными сейсмическими волнами на примере землетрясений Мичоасан (1985 г.). В данной работе рассматривается действие стационарной поверхностной волны на подземный трубопровод, ось которого параллельна свободной поверхности упругого полупространства. Согласно работе [9], при распространении поверхностной волны, фронт которой перпендикулярен к оси Ox , в упругом полупространстве отличными от нуля будут перемещения вдоль осей Ox_1 и Oz_1 , которые соответственно обозначим через $u(x_1, z_1, t)$ и $w(x_1, z_1, t)$. Используя обозначения, принятые в работе [9], выражения этих перемещений записываем в виде

$$u_{x_1} = -A\xi_R [\exp(-\xi_R z_1 \sqrt{1-qs}) - 0.5(1-s)\exp(-\xi_R z_1 \sqrt{1-s})] \sin \xi_R (c_R t - x_1), \quad (1)$$

$$u_{z_1} = A\xi_R \sqrt{1-qs} [\exp(-\xi_R z_1 \sqrt{1-qs}) - 2(2-s)^{-1} \exp(-\xi_R z_1 \sqrt{1-s})] \cos \xi_R (c_R t - x_1), \quad (2)$$

где A – постоянная величина; $q = (c_2/c_1)^2 = (1-2\nu)/2(1+\nu)$; ν – коэффициент Пуассона; $s = (c_R/c_2)^2$, $\xi_R = \omega/c_R = 2\pi/\lambda_R$ – волновое число; λ_R – длина волны Релея; c_R – скорость распространения поверхностной волны Релея, где $c_1 = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}$, $c_2 = \sqrt{\mu/\rho}$ – скорости распространения объемных и сдвиговых волн; λ и μ – постоянные Ламе; ρ – плотность среды. Полагая $u_{0z} = u_{z_1}(0)$, из (2) получаем

$$A\xi_R = \frac{u_{0z}}{[1 - 2(2-s)^{-1}] \sqrt{1-qs}}.$$

Усредним по внешнему контуру сечения трубопровода (окружности радиуса a) перемещения частиц среды

$$w_0 = 2 \int_{-\pi/2}^{\pi/2} u_x d\theta = A_0 \sin \xi_R (c_R t - x_1), \quad (3)$$

$$A_0 = -2A\xi_R \left[\int_{-\pi/2}^{\pi/2} \exp[-\sqrt{1-qs}\xi_R (R + a \sin \theta)] d\theta - 0.5(1-s) \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \exp[-\sqrt{1-s}\xi_R (R + a \sin \theta)] d\theta \right].$$

Уравнение движения [6] в переменной $x = c_R t - x_1$ с учетом выражения (3) для перемещения w_0 записываем в виде

$$\frac{d^2 U}{dx^2} \pm 2n \frac{dU}{dx} \pm p^2 U = \pm 2n A_0 \xi_R \cos \xi_R x \pm p^2 A_0 \sin \xi_R x,$$

где $p = \sqrt{\frac{k}{ES|1-M^2|}}$; $2n = \frac{\eta}{ES|1-M^2|}$; $M = c_R/c_0$ – число Маха; $c_0 = \sqrt{E/\rho}$ – скорость рас-

пространения продольных волн в трубопроводе; $U(x, t)$ – перемещение сечений трубы; E и ρ – модуль Юнга и плотность материала трубы; S – площадь поперечного сечения трубы; k и η – коэффициенты взаимодействия окружающей среды с трубопроводом, определяемые опытным путем.

На рис. 6 представлены кривые зависимости приведенных осевых напряжений $\bar{\sigma} = \sigma / E\nu_0 \xi_R$ вдоль оси трубопровода в интервале $0 < x < \lambda_R$ (λ_R – длина волны Релея для различных значений коэффициента Пуассона и параметра p (m^{-1})) в случае $M < 1$. В расчетах принято $c_1 = 1500$ м/с; $R = 2$ м; $a = 2$ м; $n = 2$ m^{-1} . Период колебаний грунта за фронтом волны принят $T = 0.1$ с. Видно, что с ростом параметра p сечения трубопровода вблизи фронта волны приобретают колебательный характер с увеличивающейся амплитудой. С удалением от фронта волны колебания се-

чений трубопровода имеют гармонический характер с периодом $T=0.1$ с. Рост коэффициента Пуассона приводит к уменьшению длины волны и максимального значения осевого напряжения $\bar{\sigma}$.

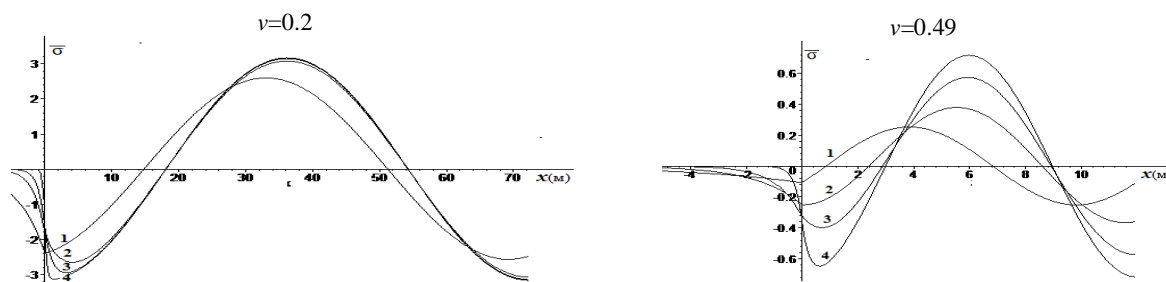


Рис. 6. Распределение приведенного напряжения $\bar{\sigma} = \sigma / E\nu_0 \xi_R$ по длине трубопровода при $n=0.1$ (m^{-1}) и для различных значений коэффициента Пуассона ν и параметра p (m^{-1}): 1 – $p=0.1$; 2 – $p=0.5$; 3 – $p=1$; 4 – $p=3$

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рашидов Т. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений. Ташкент: Фан, 1973. – 180 с
- [2] Маткаримов А. Х. Вопросы сейсродинамики подземных сооружений с учётом вязкоупругих свойств сооружений и контакта их с грунтом: Автореф. дис ... канд. физ.-мат. наук. Ташкент, 1974. – 20 с.
- [3] Баркан Д. Д. Динамика оснований и фундаментов. М.: Стройвоениздат, 1948.
- [4] Sato K., Hamada M., Doi M. An Experimental Study of Effects of Laterally Flowing Ground on In-Ground Structures // Proceedings of the Fifth U.S.-Japan Workshop on Liquefaction, Large Ground Deformation and Their Effects on Lifelines, Snowbird, Utah, Technical Report NCEER-94-0026, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, 1994. P. 405 – 414.
- [5] Никифировский В. С., Шемякин Е. И. Динамическое разрушение твердых тел. Новосибирск: Наука, 1979. – 272 с.
- [6] Рашидов Т. Р., Исраилов М. Ш., Мардонов Б. Сейсродинамика подземных трубопроводов при неидеальном контакте с грунтом: влияние проскальзывания на динамические напряжения // Прикладная механика и техническая физика (ПМТФ) РАН. 2016. Т. 57. № 6 (340). С. 189 – 197.
- [7] Мирзаев И., Бекмирзаев Д. Комплекс программ для исследования сейсродинамики пространственных систем подземных трубопроводов // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 20180605. 17.07.2018 г.
- [8] O'Rourke T. D., Wang Y., Shi P. Advances in Lifeline Earthquake Engineering. Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, British Columbia, Canada Aug. 2004. Paper No 5003.
- [9] Бреховских М. Волны в слоистых средах. М.: Наука, 1973. – 343 с.

Институт механики и сейсмостойкости сооружений
им. М.Т. Уразбаева АН РУз

Дата поступления
26.12.2018

Т.Р. Рашидов, Б. Мардонов, И. Мирзаев. Сейсмик тўлқинлар таъсирида ер ости қувурларини тебраниши
Энергиянинг тўлқин билан олиб кетилишини ҳисобга олган ҳолда, сейсмик тўлқин, шунингдек zilzilанинг реал ёзувлари, таъсирида қувурдаги тўлқин жараёнларининг шаклланиш қонуниятлари тадқиқ этилган. Сейсмик тўлқинлар фронтдан узоклашганида қувур кесимларининг тебраниши гармоник кўринишига эга бўлиши кўрсатилган.

T.R. Rashidov, B. Mardonov, I. Mirzaev. About vibrations of underground pipelines under the action of seismic waves

The regularity of the formation of wave processes in the pipeline under the action of seismic waves, including the actual recording of earthquakes, taking into account the wave entrainment of energy has been investigated. It is shown that with distance from the seismic wave front, oscillations of the pipeline sections are harmonic in nature.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИНЧАТОЙ КОНТИНУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ

Разработке пространственной модели, методу динамического расчета и исследованию динамического поведения здания с различными граничными условиями в основании при сейсмических воздействиях посвящен ряд работ [1 – 5]. В этих исследованиях на базе проведенных пространственных расчетов получены достоверные результаты, касающиеся динамических характеристик, динамического поведения высотного сооружения и его напряженно-деформированного состояния, подтвержденные сравнением с экспериментальными данными реального высотного жилого дома на жестком и сейсмозащитном фундаменте [6].

В статье рассмотрена пластинчатая модель зданий по определению динамических характеристик, используя резонансный метод численного расчета. Задача решается численными методами МКЭ и явной схемой МКР. Для сопоставления численных результатов динамических характеристик рассматриваются многоэтажные здания с различными этажностями.

Сейсмические колебания здания моделируются движением толстой анизотропной консольной пластины, деформирование которой описывается на основе бимоментной теории пластин, разработанной в работах [7 – 11]. В качестве уравнения движения здания принимаются уравнения бимоментной теории пластин, которые адекватно отражают пространственную форму колебаний с учетом изгибов и поперечного сдвига деформаций.

Предполагаем, что динамическое поведение здания при сейсмических колебаниях можно описать движением некоторой толстой консольной пластины из малопрочного материала, размеры которого равняются внешним размерам здания.

Определим приведенные механические характеристики пластинчатой модели здания. При определении приведенных плотности и модуля упругости пластинчатой модели считается, что здание состоит из многочисленных коробок (комнат).

Приведенная плотность здания определяется по следующей формуле:

$$m_{np} = \rho_{пл} V_1 = \rho_{np} V_0. \quad (1)$$

Здесь V_0 – объем одного этажа здания; V_1 – объем плит, образующих один этаж здания:

$$V_0 = ab_1 H, \quad V_1 = 2ab_1 h_1 + ab_1 h_2 + 2Hb_1 h_1 + (k - 2)Hb_1 h_2 + aHh_2, \quad (2)$$

где a , H – длина и ширина здания; b_1 – высота одного этажа здания; k – количество внутренних поперечных стен здания; h_1 – толщина внешних несущих стен; h_2 – толщина внутренних стен.

В общем случае в аналитическом виде определены приведенные упругие характеристики и плотности здания. Приведенные упругие характеристики здания определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} E_1^{np} &= \xi_{11} E_0, & E_2^{np} &= \xi_{22} E_0, & E_3^{np} &= \xi_{33} E_0, \\ G_{12}^{np} &= \xi_{12} G_0, & G_{13}^{np} &= \xi_{13} G_0, & G_{23}^{np} &= \xi_{23} G_0. \end{aligned} \quad (3)$$

Приведенная плотность здания определяется по формуле

$$\rho_{np} = \rho_0 \xi_0. \quad (4)$$

Значения коэффициентов ξ_{11} , ξ_{22} , ξ_{33} , ξ_{12} , ξ_{13} , ξ_{23} , ξ_0 для каждой ячейки (комнаты) здания определяются в виде функций двух пространственных переменных, E_0 , G_0 – модули упругости и сдвига самой прочной несущей панели здания. Приведенные модули упругости здания определяем по формулам:

$$\xi_{11} = \frac{S_{11}}{S_{01}}, \quad \xi_{22} = \frac{S_{22}}{S_{02}}, \quad \xi_{33} = \frac{S_{33}}{S_{03}}, \quad \xi_{12} = \frac{S_{12}}{S_{01}}, \quad \xi_{13} = \frac{h_{nep}}{b_1} \lambda^*, \quad \xi_{23} = \frac{h_2}{a_1}, \quad (5)$$

$$\xi_0 = \frac{V_1}{V_0}, \quad (6)$$

где S_{01}, S_{02}, S_{03} – площади поперечных сечений здания в трех координатных плоскостях одного этажа здания; $S_{11}, S_{12}, S_{22}, S_{33}$ – суммарные площади поперечных сечений плит в координатных плоскостях, образующие один этаж здания; h_{nep} – толщина перекрытия; λ^* – коэффициент, характеризующий пустоты в поперечном сечении плиты перекрытия, равный

$$\lambda^* = \frac{a_1 h_{nep} - s^*}{a_1 h_{nep}}. \quad (7)$$

Здесь a_1 – расстояние между двумя поперечными межкомнатными плитами; s^* – сумма площадей отверстий в поперечном сечении перекрытия.

Отметим, что если все стены здания из одинакового материала, то вышеприведенные объемы и площади определяются в зависимости от размеров плит, комнат и самого здания в следующем виде:

$$S_{01} = b_1 H, \quad S_{02} = aH, \quad S_{03} = ab_1, \quad (8)$$

$$S_{11} = 2b_1 h_1 + b_1 h_2 + Hh_{nep}, \quad S_{12} = 2b_1 h_1 + b_1 h_2,$$

$$S_{22} = 2ah_1 + ah_2 + 2Hh_1 + (k-2)Hh_2, \quad (9)$$

$$S_{33} = 2b_1 h_1 + ah_2 + (k-2)b_1 h_2.$$

Если стены здания из различных материалов, то значения коэффициентов $\xi_{11}, \xi_{22}, \xi_{33}, \xi_{12}, \xi_{13}, \xi_{23}, \xi_0$ определяются по следующим формулам, учитывающим конструктивные особенности здания:

$$\xi_{11} = \frac{S_{11}}{S_{01}}, \quad \xi_{22} = \frac{S_{22}}{S_{02}}, \quad \xi_{33} = \frac{S_{33}}{S_{03}}, \quad (10)$$

$$\xi_{12} = \frac{S_{12}}{S_{01}}, \quad \xi_{13} = \frac{G_{nep} h_{nep}}{G_0 b_1} \lambda^*, \quad \xi_{23} = \frac{G_2 h_2}{G_0 a_1},$$

$$S_{01} = b_1 H, \quad S_{02} = aH, \quad S_{03} = ab_1, \quad (11)$$

$$S_{11} = 2b_1 h_1 \frac{E_b^{(1)}}{E_0} + b_1 h_2 \frac{E_b^{(2)}}{E_0} + Hh_{nep} \frac{E_{nep}}{E_0},$$

$$S_{12} = 2b_1 h_1 \frac{E_b^{(1)}}{E_0} + b_1 h_2 \frac{E_b^{(2)}}{E_0}, \quad (12)$$

$$S_{22} = 2ah_1 \frac{E_b^{(1)}}{E_0} + ah_2 \frac{E_b^{(2)}}{E_0} + 2Hh_1 \frac{E_b^{(1)}}{E_0} + (k-2)Hh_2 \frac{E_b^{(2)}}{E_0},$$

$$S_{33} = 2b_1 h_1 \frac{E_b^{(1)}}{E_0} + ah_2 \frac{E_b^{(2)}}{E_0} + (k-2)b_1 h_2 \frac{E_b^{(2)}}{E_0}.$$

Здесь G_{nep} – модуль сдвига перекрытия здания; G_2 – модуль сдвига внутренних стен; $E_b^{(1)}$ – модуль упругости наружных стен; $E_b^{(2)}$ – модуль упругости внутренних стен; E_{nep} – модуль упругости перекрытия.

В данной статье получены результаты по формулам (5) и (6) в рамках пластинчатой модели. При расчете выбраны следующие размеры здания: длина и ширина здания $a=30$ м, $H=11$ м, высота одного этажа здания $b_1=3$ м, толщины внешних несущих стен и внутренних стен $h_1=0.25$ м и $h_2=0.25$ м, толщина перекрытия $h_{nep}=20$ м. Материалы стен здания считаем одинаковыми.

Значения собственных частот для континуальной модели получены резонансным методом. Предполагается, что амплитуда вынужденных колебаний близка к первой собственной частоте здания. Перемещение основания задаем вдоль горизонтального поперечного направления здания по следующему закону:

$$u_1 = u_2 = 0, \quad u_3 = u_0(t), \quad (13)$$

где $u_0(t)$ – закон движения основания, задаваемый в следующем виде:

$$u_0(t) = A_0 \sin(\omega_0 t). \quad (14)$$

Здесь A_0 и ω_0 – амплитуда и частота перемещения основания.

При описании граничных условий на нижнем заземленном краю задаются кинематические условия, учитывающие закон движения основания (14).

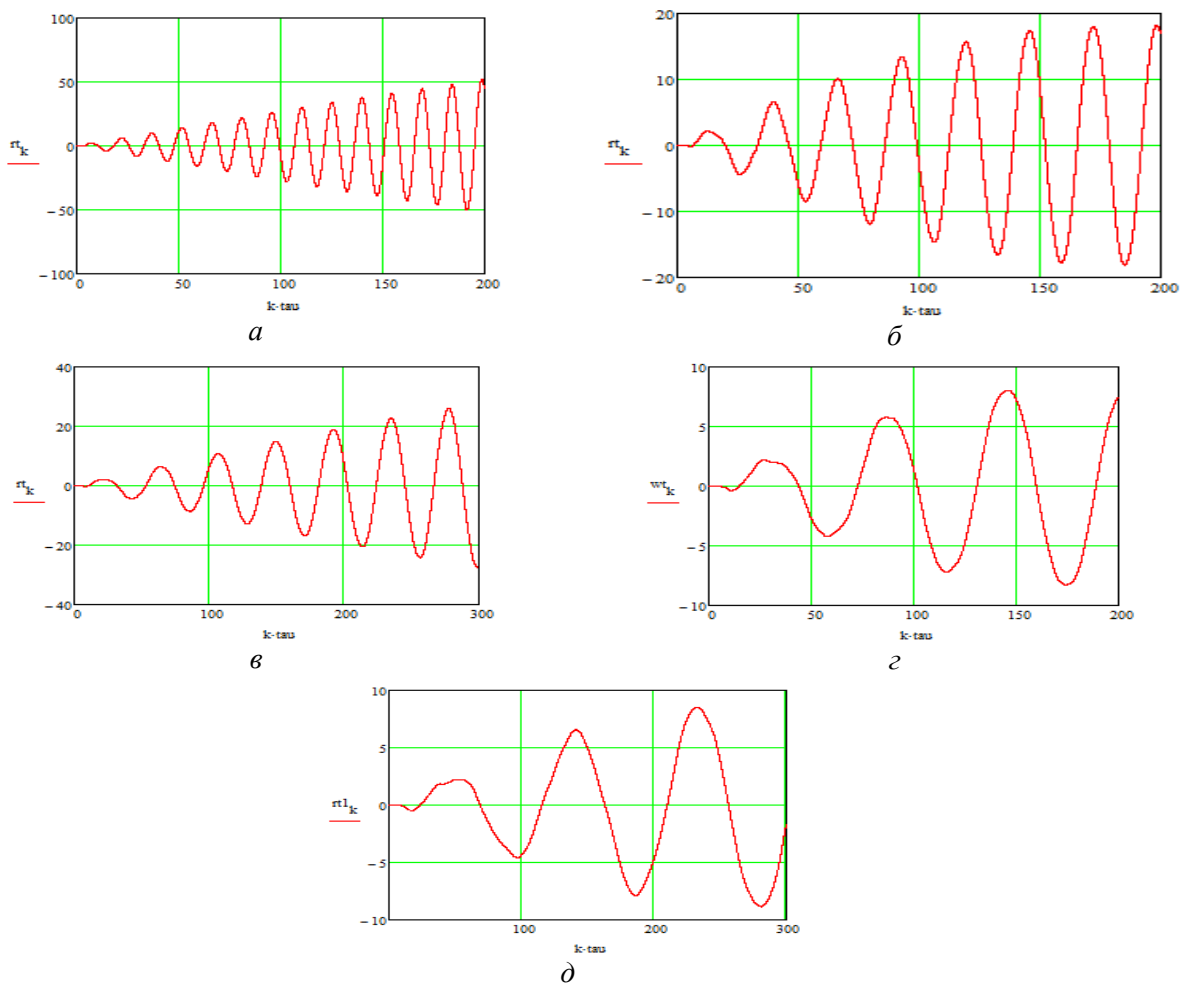
Задача решается методом конечных разностей. Для аппроксимации первых производных принимаются центральные разностные схемы.

Собственная частота первой формы колебаний зданий в коробчатой и континуальной моделях

Этаж здания	Период и частота по коробчатой модели		Период и частота по континуальной модели	
	T , с	ω_1 , Гц	T , с	ω_1 , Гц
2	0.0398	25.12	0.0392	25.48
3	0.0579	17.26	0.0590	16.93
4	0.0782	12.78	0.0793	12.60
5	0.1009	9.91	0.1031	9.69
6	0.1264	7.91	0.1298	7.70
7	0.1547	6.46	0.1639	6.10
8	0.1866	5.36	0.1953	5.12
9	0.2212	4.52	0.2169	4.61
10	0.2597	3.85	0.2666	3.75
11	0.3021	3.31	0.3125	3.20
12	0.3472	2.88	0.3484	2.87

Полученные численные результаты собственных частот первой формы колебаний для рассматриваемого примера здания приведены в таблице.

На основе МКР получены численные результаты пластинчатой континуальной модели здания, приведенные в виде прогибов верхних этажей r на рисунке.



Графики изменений нормального перемещения r по времени в середине верхнего этажа двухэтажного (а), пятиэтажного (б), семиэтажного (в), девятиэтажного (г) и двенадцатиэтажного (д) зданий

В таблице приведены численные значения частот собственных колебаний зданий, этажность которых от двух до двенадцати. Для коробчатой модели здания также получены значения собственных частот. На рисунке приведены результаты, полученные по континуальной модели. Используя резонансный метод, были получены результаты собственных частот континуальной модели, близкие к собственным частотам коробчатой модели.

На рисунке видно, что при каждой собственной частоте рассматриваемое здание попадает в резонансное состояние. Это означает, что пластинчатая континуальная модель правильно описывает динамическое поведение многоэтажных зданий при расчетах на сейсмические воздействия.

Шаг вычисления по безразмерным координатам принят равным $\Delta x=1/32$, $\Delta y=1/32$. Устойчивость вычисления по безразмерному времени обеспечена по явной схеме при шаге $\Delta \tau=0.01$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рашидов Т.Р., Шамсиев У.Ш., Мушеев Р.Н., Бовшовер А.З. Сейсродинамика пространственных систем. Ташкент: Фан, 1992. – 152 с.
- [2] Айзенберг Я.М. и др. Адаптивные системы сейсмической защиты сооружений. М.: Наука, 1978. – 248 с.
- [3] Усаров М.К., Аюбов Г.Т. Динамический расчет здания на основе континуальной пластинчатой модели // Проблемы механики. 2018. № 1. С. 108 – 111.
- [4] Руми Д.Ф., Аюбов Г.Т. Обоснование эффективности сейсмозащитного пояса пространственным расчетом здания // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. М., 2016. № 3. С. 47 – 50.
- [5] Руми Д.Ф., Аюбов Г.Т. Влияние сейсмозащитного пояса на динамическое поведение и устойчивость здания при сейсмических воздействиях // Научно-технический журнал ФерПИ, Фергана, 2016. Т. 20. №3. С. 58 – 62.
- [6] Материалы научно-технического отчета по теме: «Статические испытания экспериментального 9-этажного жилого дома с СЭО». Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т.Уразбаева АН РУз. Ташкент, 1996 – 1997. – 42 с.
- [7] Usarov M. K. On Solution of the Problem of Bending of Orthotropic Plates on the Basis of Bimoment Theory // Open Journal of Applied Sciences. USA. Vol. 5. 2015. P. 212 – 219.
- [8] Usarov M. K. Dynamic Design of Thick Orthotropic Cantilever Plates with Consideration of Bimoments // World Journal of Mechanics. 2016. № 6. P. 341 – 356.
- [9] Usarov M. K., Usarov D. M., Ayubov G. T. Bending and Vibrations of a Thick Plate with Consideration of Bimoments // Journal of Applied Mathematics and Physics. Vol. 4. 2016. P. 1643 – 1651.
- [10] Usarov M. K. To the solution of three-dimensional problems of oscillations in the theory of elasticity in thick plates of variable thickness // Journal of Applied Mathematics and Physics. Vol. 5. 2017. N. 10. P. 2044 – 2050.
- [11] Усаров М.К. Изгиб ортотропных пластин с учетом бимоментов. Санкт-Петербург // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 1. (53). С. 80 – 90.

Институт механики и сейсмостойкости сооружений
им. М.Т. Уразбаева АН РУз

Дата поступления
17.12.2018

М.К. Усаров, Д.Ф. Руми, Г.Т. Аюбов. Бинолар пластинасимон континуаль моделининг динамик характеристикаларини аниқлаш

Мақола резонанс усулидан фойдаланиб пластинасимон модел асосида кўп қаватли биноларнинг хусусий частоталарини аниқлашга бағишланган. Сейсмик куч сифатида бино асосининг кўчиши резонс частота билан тебранувчи гармоник қонун асосида берилган. Бино пластинасимон модели ҳаракат тенгламалари чекли айирмалар усули билан ечилган. Масаласар ечилган ва сонли натижалар олинган.

M.K. Usarov, D.F. Rumi, G.T. Ayubov. Determination of the dynamic characteristics of a building on the basis of continuous plate model

The paper is devoted to the determination of eigenfrequencies of multi-story buildings within the plate model using the resonance method. Harmonic oscillation of soil is taken as a seismic effect. The amplitude of harmonic oscillation is similar to the first eigenfrequency of the building. Equation of motion of a plate model is solved by the finite difference method. Examples are considered and numerical results are obtained.

М.Р. БАКИЕВ, Н. РАХМАТОВ, А. ЖАХАНОВ

РАСЧЕТ ВОДНОГО БАЛАНСА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ

Количественной оценкой процесса взаимодействия поверхностных и подземных вод Ферганской долины служит величина подземного питания или подземных потерь стока поверхностных водотоков. Для ее определения наряду с гидрогеологическими методами используется гидрометрический метод, основанный на расчетах водного баланса поверхностных вод. При этом ставится задача расчета водного баланса не только в пределах контура Ферганской долины в целом, но и по отдельным более мелким элементам, приуроченным к месторождениям подземных вод, границы которых, как правило, не охватывают естественный водоток или ирригационную систему целиком, а разделяют их на отдельные участки. В пределах Ферганской долины определено 18 таких месторождений, что обусловило необходимость сбора и анализа в ходе исследований по возможности более детальной гидрологической и водохозяйственной информации, включая:

- расходы гидростов гидрометслужб по стволам рек Нарын, Карадарья и Сырдарья на участке от Учкурганской и Андижанской ГЭС до Кайраккумского водохранилища за период с 1990 по 2017 г.;
 - расходы и объемы водозабора из ствола Сырдарья и ее притоков по всем головным сооружениям с 1990 по 2017 г.;
 - среднемесячные расходы воды по 252 единицам каналов, сбросов и коллекторов за период с 1990 по 2017 г.;
 - боковая приточность к стволу рек по саям, находящимся на правом берегу реки, и сбросы из коллекторно-дренажной сети в ствол реки;
 - карты-схемы оросительных и коллекторно-дренажных сетей по областям Ферганской долины;
 - детальные характеристики магистральных каналов и сооружений на них;
 - метеоданные и пространственные координаты по 15 метеостанциям и др.
- Представим результаты обобщения указанной информации.

Поверхностные водотоки Ферганской долины. Наряду с реками и саями к поверхностным водотокам Ферганской долины относятся оросительные системы, распределяющие сток по орошаемым площадям, и открытые коллекторно-дренажные сети, сброс из которых, как правило, осуществляется в речные русла.

В долине расположено 11 крупных оросительных сетей на магистральных каналах, краткие сведения о которых приведены в табл. 1. Кроме того, на многочисленных саях, стекающих с окружающих долину гор, имеются локальные оросительные сети, которые объединены магистральными каналами. На левом берегу Сырдарья имеется три крупных параллельных канала: БФК, ЮФК и БАК, на правом – два: СФК и БНК.

Таблица 1

Краткие характеристики магистральных каналов

№	Наименование канала	Источник питания	Длина, км
1	Большой Ферганский канал (БФК)	р. Нарын	270
2	Канал дополнительного питания (КДП)	р. Нарын	13
3	Большой Андижанский канал (БАК)	КДП	109
4	Канал Хакулабад	КДП	
5	Большой Наманганский канал (БНК)	р. Нарын	135
6	Северный Ферганский канал (СФК)	р. Нарын	160
7	Андижансай	р. Карадарья	72
8	Канал им. Ахунбабаева	р. Сырдарья	48
9	Пахтаабад	р. Карадарья	30
10	Шарихансай	р. Карадарья	105
11	Южный Ферганский канал (ЮФК)	Шарихансай	120

Для обеспечения водозабора и распределения воды из рек – источников орошения ирригационные системы оборудованы значительным количеством инженерных гидротехнических сооружений.

Открытые коллекторные сети располагаются на правобережных орошаемых массивах и включают ряд систем крупных коллекторов (табл. 2).

Таблица 2

Основные коллекторы Ферганской долины

№	Коллектор	Протяженность, км	Водосборная площадь, тыс. га
1	КЯК	54.6	1.2
2	Северный	473.02	10.8
3	Центральный	152.38	2.4
4	Д	210.3	8.5
5	Сох - Исфара	1520.77	39.9
6	Д - 2 (МНС)	43.46	1.7
7	ЖК - 4	225.96	13.9
8	Сох - сброс	383.73	15.7
9	Абдусамат	90	1.9
10	Шур - Ак - Куль	91	1.9
11	Пишкаран	94.55	6.1
12	Тумар	69	3.4
13	Ачикуль	4602	193.2
14	Северный	1168	47.8
15	Сары - Джуга	540	25.2
	Всего	9718.77	373.6

Водоучет на поверхностных водотоках Ферганской долины. В зависимости от типов водотоков водоучет в Ферганской долине осуществляется различными организациями. На реках водоучет ведется гидрометслужбами, которые предоставляют официальные данные по расходам воды, осредненным за месяц, декаду, сутки, или почасовые значения. Пункты измерения расходов воды на оросительных системах, принадлежащих подразделениям БВО «Сырдарья» и Минводхоза РУз, располагаются в непосредственной близости от гидротехнических водозаборных и регулирующих сооружений, либо на пограничных участках каналов. Расходы воды регистрируются каждый час и в виде осредненных за сутки значений используются при водоучете. Учет дренажных вод по устьевым сбросам коллекторов в реки, а также учет водоподачи насосными станциями осуществляется службами гидрометрии подразделений Минводхоза. В табл. 3 приведены официальные данные по гидропостам гидрометслужбы. Кроме того, в расчетах использовались аналогичные сведения по более чем 450 пунктам водоучета на каналах и коллекторах, полученных нами по данным БВО «Сырдарья» и Минсельводхоза. Конструктивно пункты водоучета, в основном, представляют собой речные уровнемерные посты, для которых имеет место устойчивая математическая (графическая) связь между измеряемым уровнем и расходом воды. В меньшем количестве для косвенных измерений расходов применяются собственно гидротехнические сооружения, для которых путем градуировки установлена зависимость между открытием затворов и проходящим через образовавшееся отверстие расходом воды. Отдельную группу средств водоучета представляют различные расходомеры, располагаемые на водотоках с небольшими расходами (межхозяйственные и внутрихозяйственные каналы).

Вне зависимости от ведомственной принадлежности и конструкции на все пункты водоучета распространяется действие Закона о метрологическом обеспечении, согласно которому средство измерения расхода (уровня) воды на поверхностном водотоке подлежит аттестации и признается действующим в течение двух лет после поверки органами Госстандарта. Принимается, что предельная относительная погрешность определения расхода воды аттестованными средства-

ми измерения не должна превышать 5% для речных гидропостов и 10% для гидротехнических сооружений, используемых в качестве средств измерения расходов воды.

На рисунке приведена схема расположения всех пунктов водоучета в Ферганской долине, данные по которым использованы в дальнейших расчетах водного баланса.

Таблица 3

Список гидропостов на реках, находящихся в Ферганской долине (Узгидромет)

№ п/п	Название водного объекта	Местоположение (название) гидропоста	Код гидропоста	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, кв. км	Отметка нуля поста высота, м
1	Р. Сырдарья	Кишлак Каль	16004	2173	90 000	377.54
2	Р. Сырдарья	Кишлак Акжар	16006	2082		356.05
3	Р. Сырдарья	Чальмахрам	16008	2059		349
4	Р. Нарын	Село Учтерек	16059	209	47 000	862.3
5	Р. Нарын	Ниже р. Карасу (пр.)	16661	72	57 700	535
6	Р. Нарын	Учкурганская ГЭС	16066	49	58 200	
7	Р. Нарын	г. Учкурган	16067	40	58 400	489.47
8	Р. Нарын	Устье	16666	0.3		
9	БФК	Р. Нарын	16700	46		493
10	Канал Учкурган	Голова из БФК	16701			496
11	Р. Карадарья	Пос. Карабагиш	16110	135	12 400	770
12	Р. Карадарья	Выше Куйганьяра	16667	62		
13	Р. Карадарья	Кишлак Учтепа	16119	8		405.3
14	Отводящий канал	Андижан. Вдх	16702			799.5
15	Р. Майлису	Устье р. Кайрагач	16151	47	530	984.6
16	Р. Исфайрамсай	Село Уч – Кургон	16169	39	2220	1016.2
17	Р. Шахимардан	Кишлак Джидалик	16510	52	1180	
18	Р. Коксу	Устье	16175	0.9	174	1399.62
19	Р. Падшаата	Устье р. Тасту	16176	92	366	1534.2
20	Р. Кассансай	К. Кызылтукай	16179	74	1130	1201.37
21	Р. Гавасай	Кишлак Гава	16193	41	657	1069.1
22	Р. Сох	Кишлак Сарыканда	16198	44	2480	1137
23	Р. Чодак	Устье р. Джулайсай	16202	34	350	1075.45
24	Р. Исфара	Пост Таш – Курган	16205	59	1560	1281.22

Методика расчета руслового водного баланса. Количественная оценка потерь поверхностного стока и подземного питания рек и каналов Ферганской долины выполняется с использованием известного метода руслового водного баланса (РВБ) [1]. Метод основан на вычислении остаточного компонента (невязки) уравнения РВБ, который принимается в качестве характеристики потерь подземного питания поверхностных вод. При этом поверхностные водотоки в пределах исследуемой протяженности разбиваются на участки, для которых гидрометрическим способом определены остальные компоненты водного баланса: приток и отток по руслу водотока, водозабор и боковой приток.

Потери определяются по следующим формулам:

для русел рек (невязка):

$$\Delta = Q_{zn}^n - Q_{zn}^{n-1} - \Sigma Q_{вз} + \Sigma Q_{колл}, \quad (1)$$

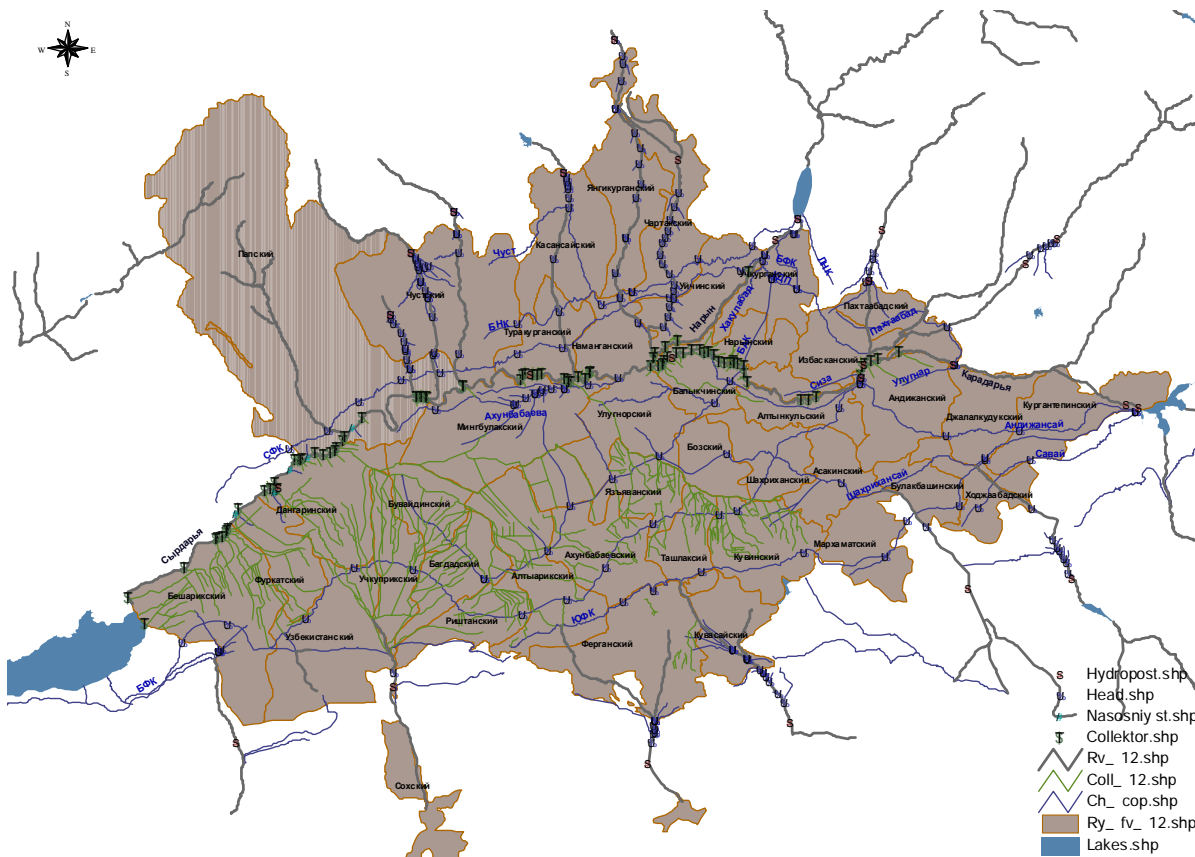
для каналов (потери):

$$Q_n = Q_{уч}^{n-1} - Q_{уч}^n - \Sigma Q_{вз} + \Sigma Q_{приток}. \quad (2)$$

Все члены этих выражений представляют собой средние месячные расходы воды (м³/с) в пределах расчетного участка соответственно:

Δ – невязка руслового баланса; Q_{zn}^n и Q_{zn}^{n-1} – отток в нижнем и приток в верхнем гидро-

метрических створах на руслах рек; $\Sigma Q_{вз}$ – суммарный водозабор; $\Sigma Q_{колл}$ – суммарный сброс из коллекторов; Q_n – потери; $Q_{уч}^{n-1}$ и $Q_{уч}^n$ – приток в верхнем и отток в нижнем створах участка канала; $\Sigma Q_{приток}$ – суммарный боковой приток в канал.



Пункты водоучета на водотоках Ферганской долины

В формулах не учитываются осадки, выпавшие на водную поверхность, и испарение с нее за расчетный (один месяц) интервал времени, а также изменение объема воды в русле как пренебрежимо малые величины.

Коэффициент полезного действия канала η определяется отношением потерь к притоку воды на участок:

$$\eta = \frac{Q_{уч}^{n-1} - Q_{уч}^n - \Sigma Q_{вз} + \Sigma Q_{приток}}{Q_{уч}^{n-1}}$$

В соответствии с поставленными задачами неувязка водного баланса определяется в трех различных вариантах, различающихся размерами охватываемых контуров (в порядке уменьшения):

- для Ферганской долины в целом;
- в пределах границ месторождений подземных вод;
- по участкам водотоков, заключенных между соседними гидропостами (пунктами водоучета гидротехническими сооружениями).

В первом случае водный баланс долины включает в качестве приходного компонента сумму среднемесячных расходов втекающих в ее пределы рек и всех мелких водотоков. По Нарыну приток определяется как среднемесячный расход Учкурганской ГЭС в месте ее расположения, по Карадарье – по расходу сброса из Андижанского водохранилища в нижний бьеф. Приток саев определяется вблизи или непосредственно в местах (точках) их пересечения с контуром долины по расходам соответствующих гидропостов. За расходный компонент принимается среднемесячный расход гидропоста Акжар на Сырдарье при выходе из Ферганской долины.

При расчете водного баланса поверхностных вод по месторождениям подземных вод приходные и расходные составляющие определяются по втекающим в контур месторождения и вытекающим из него расходам поверхностных водотоков в точках их пересечения с границей месторождения.

Расчет руслового водного баланса по участкам водотоков отличается тем, что, помимо притока на участок и оттока во входном и выходном створах, в расходные компоненты включается расход водозабора, а в приходные – боковой приток в пределах участка.

Все расчеты выполняются для двух лет характерной водообеспеченности. По полученным данным гидропостов гидрометслужбы за период наблюдений с 1990 по 2017 г. путем гидрологических расчетов нами, исходя из условий обеспечения потребностей орошения, определены среднемесячные (75 %-ной обеспеченности) 1995 г. и маловодный (90 %-ной обеспеченности) 2001 г., которые приняты в качестве расчетных.

Результаты расчетов водного баланса. В соответствии с принятой методикой расчета водного баланса приняты следующие граничные точки водобалансовых участков на поверхностных водотоках: по рекам Сырдарье, Нарын и Карадарье выбраны 10 балансовых участков и соответственно 11 граничных пунктов (табл.4) [2, 3]. Для каждого пункта определены по 24 значения среднемесячных расходов воды для 1995 и 2001 гг.

Таблица 4

Граничные пункты водобалансовых участков на реках

№ п/п	Наименование пункта	Водоток	Примечание
1	Учкурганская ГЭС	Р. Нарын	Пункт учета попуска ГЭС
2	Гидропост Учкурган	Р. Нарын	Гидропост гидрометслужбы
3	Гидроузел Учкурган	Р. Нарын	Гидропост БВО
4	Гидропост Нарын	Р. Нарын	Гидропост гидрометслужбы
5	Гидропост Каль	Р. Сырдарья	Гидропост гидрометслужбы
6	Гидропост Акжар	Р. Сырдарья	Гидропост гидрометслужбы
7	Андижанское водохранилище	Р. Карадарья	Пункт учета пропуска ГЭС
8	Гидроузел Тешикташ	Р. Карадарья	Гидропост водхоза
9	Гидроузел Куйганяр	Р. Карадарья	Гидропост БВО
10	Гидропост Учтепа	Р. Карадарья	Гидропост гидрометслужбы

По формуле (1) рассчитаны русловые балансы на участках рек Карадарья, Нарын и Сырдарья. Анализ результатов выполненных расчетов для 1995 и 2001 гг. показывает следующее.

В пределах участка реки Карадарья от створа плотины Андижанского водохранилища до створа плотины Куйганьярского гидроузла имеют место фильтрационные потери стока из реки в пределах от 4.51 до 7.0 м³/с·км. На участке от Куйганьярской плотины до гидропоста Учтепа русло реки дренирует выклинивающийся поток подземных вод расходом от 55.74 до 58.07 м³/с·км. По реке Нарын от Токтогульской плотины до гидропоста Учкурган из реки теряется на фильтрацию в русло от 39.83 до 54.1 м³/с·км. Ниже гидропоста Учкурган до гидропоста Каль имеет место выклинивание подземных вод в русло реки объемом от 10.68 до 22.3 м³/с·км. По руслу Сырдарьи на участке между гидропостами Каль и Акжар также выклинивается в русло от 20 до 23 м³/с·км.

На основе собранных материалов установлено, что в пределах Ферганской долины в русло рек поступает сток 86 коллекторов и сбросов, средняя годовая величина которого составляла 365.18 (1995 г.) и 315.7 (2001 г.).

Балансы по каналам и саям рассчитывались с использованием формулы (2). При этом по известным значениям расходов воды в каналах и по водозаборах определялись потери на магистральных, межхозяйственных и внутрихозяйственных каналах. Для расчетных лет данные, полученные по водозаборах из источников с учетом потерь, происходящих в магистральных и межхозяйственных каналах, суммарный водозабор по Ферганской долине составлял 11311.21 и 11947.18 млн м³ соответственно в 1995 и 2001 гг. При этом без учета потерь на магистральной и

межхозяйственной сети по нашему расчету на внутрихозяйственную сеть поступало 9310.9 (1995 г.) и 9545.72 (2001 г.) млн м³ воды.

Оросительными системами Ферганской долины ежегодно подается воды на площадь более 900 тыс. га земли. Процесс водоподачи на орошаемые массивы сопровождается потерями стока на фильтрацию как по магистральным, так и межхозяйственным и внутрихозяйственным каналам. Результаты проведенных расчетов показывают, что для расчетных лет эти потери составляли 4209.43 (1995 г.) и 4527.31 (2001 г.) млн м³ ежегодно. Эта потерянная вода является одной из главных составляющих питания подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Карасев И. Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 312 с.
- [2] Рахматов Н. Маълумотлар базасини яратиш йўлидаги Сирдарё хавзаси сув ҳўжалик бирлашмасининг тажрибаси // Журнал "Irrigatsiya va melioratsiya". Тошкент. 2018. № 2 (12), 31 – 33 бетлар.
- [3] Рахматов Н., Жаханов А. Развитие информационной базы для управления трансграничными водными ресурсами бассейна Сырдарьи // “Суғорма дехқончиликда сув ва ер ресурсларидан оқилона фойдаланишнинг экологик муаммолари” мавзусидаги Республика илмий – амалий анжуман материаллари. ТИҚХММИ. Тошкент, 2017. 24 – 25 ноябр. 48 – 51 бетлар.

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства

Дата поступления
25.12.2018

М.Р. Бакиев, Н. Рахматов, А. Жаханов. Фарғона фодийсидаги ер усти сувлари балансини ҳисоблаш
Ушбу мақолада Фарғона водийсида жойлашган гидрометеорологик станция ва гидропостлардан олинган маълумотлар асосида Фарғона водийси территориясидаги ер усти сув балансини аниқлашга ҳаракат қилинган.

M.R. Bakiyev, N. Rakhmatov, A. Jakhanov. Calculation of the water balance of the surface waters of the Fergana Valley

This article is based on the materials of the hydrometeorological station and gauging stations located in the Ferghana Valley to determine the balance of surface waters in the Fergana Valley.

УДК 696.11

З.М. МАЛИКОВ, Ф.Х. НАЗАРОВ, М.Э. МАДАЛИЕВ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ПЛОСКОЙ ПЛАСТИНЫ ТУРБУЛЕНТНЫМ ПОТОКОМ ВОЗДУХА С НУЛЕВЫМ ГРАДИЕНТОМ ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ k - ε МОДЕЛЕЙ

Турбулентные течения характеризуются флуктуациями поля скорости. При решении уравнений Навье – Стокса, описывающих такие течения, применяется подход, основанный на использовании осредненных по времени величин. В результате решение модифицированных уравнений требует меньше машинных ресурсов, но появляются дополнительные неизвестные. Для замыкания полученных уравнений используются различные модели турбулентности. На сегодняшний день существует большое количество моделей турбулентности. Однако ни одна из известных моделей не является универсальной для всех существующих классов инженерных задач. Выбор оптимальной модели турбулентности зависит от типа течения, специфического класса задачи, требуемой точности решения, доступных вычислительных ресурсов и т.п. Из многообразия общепризнанных моделей турбулентности можно выделить класс наиболее употребительных – RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes) модели, к которым относятся: семейство k - ε моделей (стандартная k - ε модель (KES), низкорейнольдсовая AKN k - ε модель (KEAKN), квадратичная k - ε модель (KEQ) [1]), семейство k - ω моделей (SST модель [2]) и модель Спаларта-Алмараса (SA модель [3]).

Модели дают различные результаты при моделировании отрывных течений, пограничных слоев и пр. Точность, обеспечиваемая различными моделями, также зависит от шага расчетной сетки в пристеночном слое ячеек (обычно характеризуется параметром y^+ , который можно рассматривать как локальное число Рейнольдса в ячейке). SA модель является однопараметрической моделью и была разработана для аэрокосмических приложений. Эта модель дает хорошие резуль-

таты для пограничных слоев, характеризующихся положительными градиентами давлений. Традиционно эта модель эффективно работает в низкорейнольдсовом случае, т.е. когда вязкий пограничный слой достаточно разрешен расчетной сеткой (т.е. когда параметр y^+ мал). Семейство $k-\varepsilon$ моделей относится к двум параметрическим моделям турбулентности и представлено стандартной $k-\varepsilon$ моделью, ее квадратичной и низкорейнольдсовой модификациями. Это семейство моделей давно и широко используется для самых разных классов задач. $k-\varepsilon$ модели отличаются работоспособностью, экономичностью и приемлемой точностью.

Традиционно считается, что стандартная $k-\varepsilon$ модель турбулентности Лаундера – Сполдинга обеспечивает хорошие результаты при моделировании течений с малыми градиентами и с использованием расчетной сетки, разрешающей только логарифмический подслой (с большими значениями параметра y^+), низкорейнольдсовая AKN $k-\varepsilon$ модель обычно применяется на сетках, разрешающих вязкий подслой. Семейство $k-\omega$ моделей представлено SST-моделью (shear-stress transport). Стандартная $k-\omega$ модель учитывает низкорейнольдсовые эффекты, влияние сжимаемости и распространение сдвиговых возмущений, однако, существенно уступает по широте применения моделям семейства $k-\varepsilon$. Модель переноса сдвиговых напряжений SST использует $k-\omega$ модель в пристеночной области и преобразованную $k-\varepsilon$ модель вдали от стенки. Анализ численных исследований различных задач турбулентности показывает, что для всех этих вышеперечисленных моделей использовались, в основном, примитивные параметры. Например, для задачи обтекания пластины турбулентным потоком система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0, \\
u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \frac{\partial}{\partial y} \left(v \frac{\partial u}{\partial y} - \overline{u'v'} \right), \\
u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_s}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + G_k - \varepsilon, \\
u \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_s}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + C_1 f_1 \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_2 f_2 \frac{\varepsilon^2}{k}, \\
-\overline{u'v'} &= v_t \frac{\partial v}{\partial y}, v_t = C_\mu f_\mu \frac{\rho k^2}{\varepsilon}, f_\mu = (1 - \exp(-A_m R_r))^2 \left(1 + \frac{A_r}{R_r} \right), \\
R_r &= \frac{\rho \sqrt{k} y}{\mu}, R_t = \frac{\rho k^2}{\mu \varepsilon}.
\end{aligned} \tag{1}$$

В данной системе уравнений G_k является источником для кинетической энергии:

$$G_k = G_{xy} = 4\mu_s \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2.$$

В приведенной системе уравнений неизвестные f_1 и f_2 определяются следующим образом:

$$f_1 = 1 + \left(\frac{A_1}{f_\mu} \right)^3, \quad f_2 = 1 - \exp(-R_t^2).$$

Остальные константы определены из экспериментов для фундаментальных турбулентных жидкостей и имеют следующие значения: $C_1=1.44$, $C_2=1.92$, $C_\mu=0.09$, $\sigma_k=1$, $\sigma_\varepsilon=1.3$, $A_m=0.0165$, $A_r=20.5$, $A_1=0.05$, ρ – плотность газа. В уравнениях $Pr=0.72$ – молекулярное число Прандтля, а $Pr_t=0.8$ – турбулентное число Прандтля.

В большинстве случаев для численного исследования системы (1) использовались методы в двумерной постановке. Более того, для достижения необходимой точности вблизи стенки расчетная сетка в поперечном направлении сгущалась. Все это приводило к увеличению памяти

программы и замедлению скорости расчета. Поэтому разработать численный алгоритм, не требующий больших вычислительных ресурсов, является актуальной задачей.

Для поставленной задачи введем обобщенную функцию тока ψ , для которой справедливы соотношения

$$U = \frac{\psi^n \partial \psi}{\partial y}, \quad V = -\frac{\psi^n \partial \psi}{\partial x}.$$

Тогда уравнение неразрывности системы (1) будет удовлетворяться автоматически. Запишем систему (1) в переменных Мизеса [4] – (ξ, ψ) , где $\xi=x$.

n – показатель сгущенности расчетных точек вблизи стенки. С увеличением данного показателя увеличивается и сгущенность точек. Далее, для расчетов авторами было использовано значение $n=1$.

В новых переменных производные определяются по известным формулам:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} &= \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \xi} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \psi}, \\ \frac{\partial}{\partial y} &= \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \xi} + \frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \psi}. \end{aligned}$$

В новых переменных система уравнений (1) приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial \xi} &= \frac{\partial}{\partial \psi} \left(v \frac{u \partial u}{\partial \psi} - \overline{u'v'} \right), \\ \frac{\partial T}{\partial \xi} &= \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{u \partial T}{\partial \psi} - \left(\frac{v}{Pr} + \frac{v_t}{Pr_t} \right) \right), \\ \frac{\partial k}{\partial \xi} &= \frac{1}{\psi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{\mu_s u}{\sigma_k \psi} \frac{\partial k}{\partial \psi} \right) + \frac{G_k}{v} - \frac{\varepsilon}{u}, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial \xi} &= \frac{1}{\psi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left(\frac{\mu_s u}{\sigma_\varepsilon \psi} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \psi} \right) + C_1 f_1 \frac{\varepsilon}{uk} G_k - C_2 f_2 \frac{\varepsilon^2}{uk}, \\ G_k &= 4\mu_s \left(\frac{u \partial u}{\partial \psi} \right)^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, новые переменные позволяют привести все уравнения системы к параболическому виду и данную систему можно записать в векторном виде

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \xi} = \frac{\partial}{\partial \psi} \left(q \frac{u \partial \Phi}{\partial \psi} \right) + w. \quad (3)$$

В этом уравнении

$$\Phi = \begin{bmatrix} u \\ T \\ k \\ \varepsilon \end{bmatrix}, \quad q = \begin{bmatrix} v + v_t \\ \frac{v}{Pr} + \frac{v_t}{Pr_t} \\ \frac{v_t}{\sigma_k} \\ \frac{v_t}{\sigma_s} \end{bmatrix}, \quad w = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{G_k - \varepsilon}{u} \\ \frac{\varepsilon(C_1 f_1 G_k - C_2 f_2 \varepsilon)}{uk} \end{bmatrix}$$

Для численной реализации уравнения (3) была использована неявная схема

$$\frac{\Phi_{i,j} - \Phi_{i-1,j}}{\Delta \xi} = \frac{0.5}{\psi_j \Delta \psi^2} \left[(q_{j+1} + q_j)(\Phi_{i,j+1} - \Phi_{i,j}) - (q_j + q_{j-1})(\Phi_{i,j} - \Phi_{i,j-1}) \right] + w_j.$$

Данная схема является абсолютно устойчивой и неизвестные на новом слое находились методом прогонки. Шаги интегрирования были $\Delta \xi = 0.00001$, $\Delta \psi = 0.0002$. Число расчетных точек в поперечном направлении составляло 4000. Для задачи ставились следующие граничные условия: на стенке, т.е. при $\psi = 0$: $U = 0$, $T = 1$ и при $\psi \rightarrow \infty$: $U = 1$, $T = 0$. Для старта расчета ставились значения $\varepsilon = k = 0.0045$ для числа Рейнольдса $Re = 5 \cdot 10^6$.

Проведем сопоставление полученных численных результатов с известными опытными данными и теориями. На рис.1 сплошной линией показываються численные результаты изменения числа Рейнольдса толщины потери импульса от безразмерной длины пластины – \bar{x} . Число Рейнольдса толщины потери импульса находилось путём интегрирования уравнения

$$\frac{d Re_\theta}{d \xi} = 0.5 C_f.$$

Данное уравнение несложно получить путем интегрирования уравнения движения для осредненного потока по y . Здесь C_f – коэффициент трения пластины, равный

$$C_f = \frac{2}{Re} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_w = \frac{2}{Re} \left(\frac{u}{\psi} \frac{\partial u}{\partial \psi} \right)_w = \frac{2}{Re} \left(\frac{\partial u^2}{\partial \psi} \right)_w.$$

Обсуждение результатов. На рис. 1 для сравнения пунктирной линией представлены опытные результаты [5].

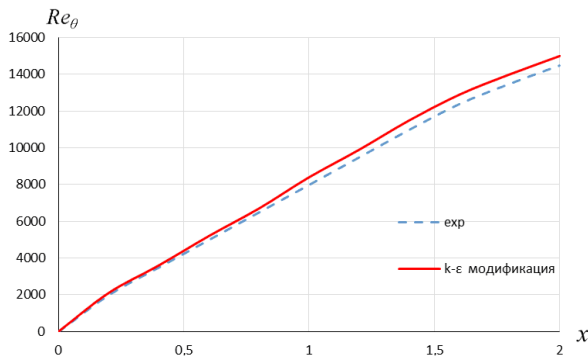


Рис. 1. Зависимость числа Рейнольдса толщины потери импульса от длины пластины

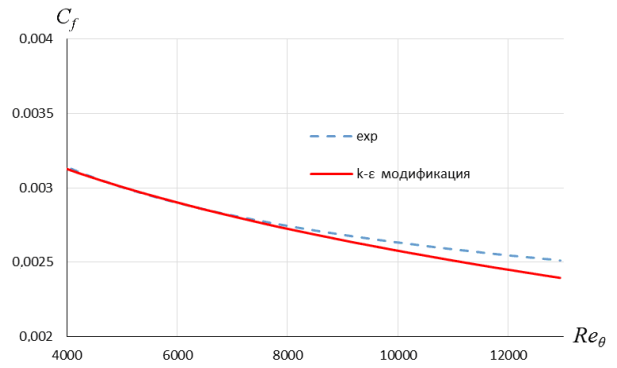


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от числа Рейнольдса толщины потери импульса

На рис. 2 сплошной линией показана зависимость коэффициента трения от безразмерной толщины потери импульса по предлагаемой модели. Пунктирной линией иллюстрируются также результаты по теории Кармана – Шюенхера [6, 7].

На рис. 3 сплошной линией показан результат численного расчета для безразмерной продольной скорости потока в зависимости от безразмерного расстояния до пластины. Безразмерные скорости и расстояние определялись по формулам

$$u^+ = \frac{u}{u_*}, y^+ = Re u_* y, u_* = \sqrt{0.5 C_f}.$$

Здесь для сравнения с результатами модели пунктирными линиями показаны также результаты теории Коулза [8, 9].

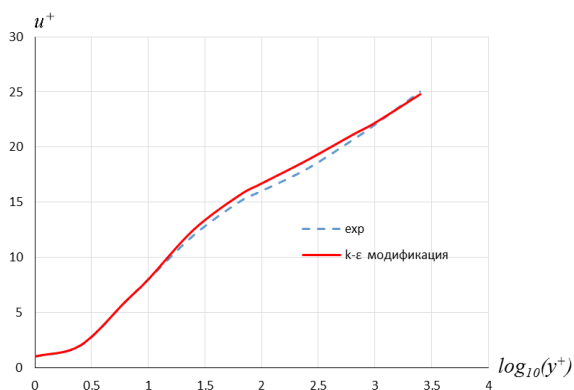


Рис. 3. Поперечное распределение продольной скорости

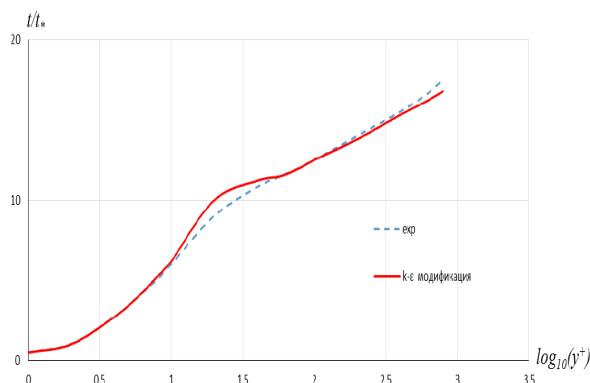


Рис. 4. Поперечное распределение продольной температуры

На рис. 4 сплошной линией показан результат численного расчета для безразмерной продольной температуры потока в зависимости от безразмерного расстояния до пластины.

Безразмерные температуры и расстояние определялись по формулам

$$t = T_w - T, t_* = \frac{\nu}{\text{Pr} u_*} \frac{\partial T}{\partial y}, y^+ = \text{Re} y u_*, u_* = \sqrt{0.5 C_f}.$$

Заключение. В статье разработан эффективный и экономичный численный метод для расчета турбулентного обтекания плоской пластины. Разработанный метод не требует больших машинных ресурсов и может быть использован для расчетов сложных турбулентных течений на персональном компьютере.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Коркодинов Я. А., Korkodinov I. A. Обзор семейства $k-\varepsilon$ моделей для моделирования турбулентности. Пермский национальный исследовательский политехнический университет. Пермь, 2013.
- [2] Menter F. R. Модели турбулентности с турбулентностью с двумя уравнениями для инженерных приложений // Журнал AIAA. Vol. 32, август 1994. № 8. С. 1598 – 1605.
- [3] Spalart P. R., Allmaras S. R. A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamics Flows // Boeing Commercial Airplane Group, Seattle. Washington, 1992.
- [4] Mises R., Zs. angew. Math. U. Mech. 1927. N. 7. P. 425.
- [5] Turbulence modeling Resource. NASA Langley Research Center. <http://turbmodels.larc.nasa.gov>.
- [6] Schoenherr K. E. Resistance of flat plate. Trans. SNAME. 1932. N. 40. P. 279 – 313.
- [7] Karman Th. Mechanische Ahnlichkeit und Turbulenz. Nachr. d. Gesellsch. d. Wissen. Zu Gottingen, Math. Phys. Kl. 1930.
- [8] Coles D. E. The law of the wake in the turbulent boundary layer // J. Fluid Mech. 1956. N. 1. P. 191 – 226.
- [9] Coles D. The turbulent boundary layer in a compressible fluid // J. Fluid Mech. 1962. N. 1. P. 191.

Институт механики и сейсмостойкости сооружений
им. М.Т. Уразбаева АН РУз

Дата поступления
30.11.2018

З.М. Маликов, Ф.Х. Назаров, М.Э. Мадалиев. Босимсиз силлиқ пластинкада оқимни турбулент харақати-ни $k-\varepsilon$ моделлар орқали моделлаштириши

Ушбу мақолада узун пластинада вужудга келадиган босимсиз турбулент ҳаво оқими сонли моделлаштириши орқали ўрганилган. Мақоладаги тадқиқотлар Навье — Стокс тенгламаларининг турбулент оқим учун $k-\varepsilon$ моделлари асосидаги ечимлари орқали олиб борилган. Олинган сонли натижаларнинг ишончлилиги маълум бўлган тажриба натижалари билан таққослаш орқали кўрсатилган.

Z.M. Malikov, F.H. Nazarov, M.E. Madaliev. Numerical modeling of a turbulent flow in a flow of a flat plate with a zero gradient of pressure based on a $k-\varepsilon$ models

In this article, the turbulent flow of air on a flat plate with a zero pressure gradient is studied. The research of article based on numerical solution of the hydrodynamic Navier-Stokes equations for turbulent flow based on the $k-\varepsilon$ models. For verification, the obtained numerical results are compare with known experimental data.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ТЕЧЕНИЯ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СУСПЕНЗИЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДАХ

На протяжении последних десятилетий усилия многих ученых в области исследований многофазных потоков были направлены на создание основ теории [1 – 10] – математическое моделирование течений вязкопластических, вязкоупругих, вязкоупругопластических сред, построенных на основе механики многофазных сред. Эти исследования, проведенные разными авторами, показали, что ими полностью не решены важные проблемы механизма структурообразования и структуроразрушения многофазных сред с учетом фундаментального свойства деформационной инертности [11 – 12], а также до сих пор не создана единая теория, охватывающая все многообразие гомогенных и гетерогенных жидких сред.

На практике, наряду с достаточной мерой вязких свойств (ньютоновская жидкость), встречаются среды, напряженно-деформированное состояние которых в значительной степени зависит от изменения напряжений и скоростей деформаций как во времени, так и в пространстве. В ряде случаев последние обладают свойством заметным образом изменять напряженное состояние при постоянной скорости или ускоренной деформации (свойство релаксации) [11], а также изменять деформированное состояние при постоянном напряжении (свойство последействия или ретардации). Весьма часто явления релаксации и ретардации, известные под общим названием как наследственность, проявляются одновременно даже у сред, которые при течении неотличимы от вполне вязких жидкостей, не говоря уже о таких средах, как концентрированные смеси (пульпы), растворы, масла, пасты, нефти, битумы и т.п., в которых эти свойства ярко выражены. Релаксационные и ретардационные переходы в смесях проявляются на разных уровнях их молекулярной и молярной организации. Под термином «моля» мы понимаем более представительные частицы, состоящие из большого количества молекул как однородной, так и неоднородной среды в физико-механическом поведении, которые проявляют себя как целостное образование. В связи с этим рассматриваемую среду считаем состоящей из двух частей, причем одна часть состоит из неупорядоченных, несвязанных мельчайших частиц, а вторая – из связанных сегментов и представляет собой распределенные по всему объему структурированные микрообласти – моли различного типа. Различные типы молей характеризуются соответственно различными временами жизни. При изменении напряжения происходит перераспределение числа частиц между структурированной и неструктурированной частями среды, т.е. изменяется относительное объемное содержание свободных частиц и молей. Смеси, в частности, дисперсные системы, характеризуются тем, что их структура описывается моделью, согласно которой имеется жидкая и твердая фазы. Частицы твердой фазы, связываясь с молекулами жидкости и близ находящимися частицами твердой фазы, в нашем понимании молей, как в отдельности, так и в связанной совокупности, представляют собой моли, но более прочные, чем моли, состоящие из частиц жидкости.

Вязко-инертнодеформируемые среды – это жидкости, часть которых образует непрерывную вязко деформируемую фазу, а часть – жидкие частицы, объединенные в моли как в турбулентном потоке (размеры которых могут иметь от нескольких сот микронов до нескольких сот метров, обладая различной формой и массой) и жидкости, в которых диспергированы частицы и их связанные между собой трением более крупные кинетические образования. При этом молекулярные образования и частицы диспергированные, а также их связанные комплексы в жидкости будем называть молями. Эти смеси деформируются, кроме механизма вязкостного и упругого, также по деформационной инерции [11]. В данном случае сравнительно небольшие совокупности частиц могут обеспечить возрастание необратимой вязкой деформации, связанной с деформационной инерцией или, наоборот, могут задержать ее по той же причине, если они, сопротивляясь благодаря деформационной инертности или то же самое вязкостной запаздывающей деформации, двигаются в течении. Для недеформированной среды процессы разрыва и восстановления физических узлов (связей) при тепловом движении молекул и молей взаимно уравниваются, а после приложения нагрузки равновесие нарушается и начинается процесс направленной перегрупп-

пировки узлов и цепей с образованием и разрушением различного размера и формы кинетических единиц. Вследствие этого в таких средах будем иметь широкий набор времён релаксации и ретардации, охватывающих несколько порядков. По этим данным можем определить практически все физико-механические свойства сред, связанных с протекающими в них процессами релаксации и ретардации.

Глубокая переработка месторождений приводит к увеличению выхода твердых хвостов обогащения мельчайших частиц, которые при увеличении их концентрации в гидросмеси способствуют превращению ньютоновских жидкостей в неньютоновские, реологически сложные текучие среды. В области теории гидротранспортирования большие достижения принадлежат ученым – М.А. Великанову, обосновавшему гравитационную теорию движения твердой фазы взвесенесущего потока, и В.М. Маккавееву с его диффузионной теорией пульсационного движения твердых частиц в потоке жидкости. В расширении и углублении теоретического подхода к проблеме переноса твердого в потоке жидкости важное значение имеют исследования, выполненные учеными Н.А. Силиным, А.П. Юфиным, М.А. Дементьевым, В.Н. Покровской, А.Е. Смолдыревым, А.Г. Джваршеишвили и др. Из зарубежных школ большой вклад в общую теорию и практику гидротранспорта внесли труды Р. Дюрана, Р. Уостера, Д.Ф. Ричардсона, С.А. Шука, В. Пажонки, Ц. Кембловски, Е. Сobotы, П. Слаттера, В.А. Мануэля и др. [13 – 15].

В зависимости от крупности частиц меняются условия гидродинамического взаимодействия дисперсных частиц с потоком дисперсионной несущей жидкости. Чаще встречается в литературе следующая классификация гидросмесей: коллоидные, структурные, тонкодисперсные, грубодисперсные, неоднородные грубодисперсные и полидисперсные гидросмеси, которые способствуют превращению ньютоновских жидкостей в неньютоновские.

Анализ структуры потоков гидросмесей должен исходить из особенностей движения однородной жидкости, в которую добавляются твердые частицы. С увеличением концентрации твердых частиц в потоке структура потока изменяется в зависимости от физико-механических и реологических характеристик сред

Эта сложная ретардационная реологическая модель в тензорной форме имеет вид [11]

$$\tau_{ij} = \mu \dot{\gamma}_{ij} + m_{\ell} \ddot{\gamma}_{ij}, \quad (1)$$

где τ_{ij} , $\dot{\gamma}_{ij}$ и $\ddot{\gamma}_{ij}$ – тензоры напряжения, скорости деформации и новое понятие изменения скорости деформации, т.е. ускорение деформации, а также μ и m_{ℓ} – коэффициенты пропорциональности, именуемые, соответственно, динамической вязкостью и линейной плотностью.

Закон сохранения массы, т.е. уравнение неразрывности в цилиндрических координатах, имеет вид

$$\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_{\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

где μ , u_i , τ_{ij} , p – соответственно динамическая вязкость, компоненты скорости, компоненты тензоров напряжений, давление соответственно.

Считая, что текучая среда состоит из несжимаемой вязкой жидкости Ньютона и среды, деформируемой ускоренно по инерции, и движется под общим давлением P , согласно (1), учитывая (2), суммарные компоненты напряжений в цилиндрических координатах можем написать в виде

$$\tau_{ii} = -P;$$

$$\tau_{r\varphi} = \mu \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial u_{\varphi}}{\partial r} - \frac{u_{\varphi}}{r} \right) + m_{\ell} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial w_{\varphi}}{\partial r} - \frac{w_{\varphi}}{r} \right); \quad (3)$$

$$\tau_{\varphi z} = \mu \left(\frac{\partial u_{\varphi}}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} \right) + m_{\ell} \left(\frac{\partial w_{\varphi}}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w_z}{\partial \varphi} \right); \tau_{zr} = \mu \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) + m_{\ell} \left(\frac{\partial w_z}{\partial r} + \frac{\partial w_r}{\partial z} \right),$$

где m_{ℓ} , w_i – линейная плотность и компоненты ускорений.

Уравнения импульса движения в цилиндрической системе координат имеют следующий вид [1]:

$$\rho \frac{\partial u_r}{\partial t} + \rho u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \rho \frac{u_\varphi}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \rho u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} - \rho \frac{u_\varphi^2}{r} = \frac{\partial \tau_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\tau_{rz} - \tau_{\varphi\varphi}}{r} + \rho F_r,$$

$$\rho \frac{\partial u_\varphi}{\partial t} + \rho u_r \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} + \rho \frac{u_\varphi}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \rho u_z \frac{\partial u_\varphi}{\partial z} + \rho \frac{u_r u_\varphi}{r} = \frac{\partial \tau_{\varphi r}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{\varphi z}}{\partial z} + \frac{2\tau_{r\varphi}}{r} + \rho F_\varphi, \quad (4)$$

$$\rho \frac{\partial u_z}{\partial t} + \rho u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \rho \frac{u_\varphi}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} + \rho u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} = \frac{\partial \tau_{zr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{z\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \frac{\tau_{zr}}{r} + \rho F_z,$$

$$\rho \frac{\partial u_r}{\partial t} + \rho u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \rho \frac{u_\varphi}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \varphi} + \rho u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} - \rho \frac{u_\varphi^2}{r} = -\frac{\partial p}{\partial r} +$$

$$+ \mu \left(\frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} + \frac{\partial u_r}{r \partial r} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} - \frac{u_r}{r^2} \right) + m_\ell \left(\frac{\partial^2 w_r}{\partial r^2} + \frac{\partial w_r}{r \partial r} + \frac{\partial^2 w_r}{\partial z^2} - \frac{w_r}{r^2} \right) + \rho F_r,$$

$$\rho \frac{\partial u_\varphi}{\partial t} + \rho u_r \frac{\partial u_\varphi}{\partial r} + \rho \frac{u_\varphi}{r} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} + \rho u_z \frac{\partial u_\varphi}{\partial z} + \rho \frac{u_r u_\varphi}{r} = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} +$$

$$+ \mu \left(\frac{\partial^2 u_\varphi}{\partial r^2} + \frac{\partial u_\varphi}{r \partial r} + \frac{\partial^2 u_\varphi}{\partial z^2} - \frac{u_\varphi}{r^2} \right) + m_\ell \left(\frac{\partial^2 w_\varphi}{\partial r^2} + \frac{\partial w_\varphi}{r \partial r} + \frac{\partial^2 w_\varphi}{\partial z^2} - \frac{w_\varphi}{r^2} \right) + \rho F_\varphi, \quad (5)$$

$$\rho \frac{\partial u_z}{\partial t} + \rho u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \rho \frac{u_\varphi}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} + \rho u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} +$$

$$+ \mu \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} + \frac{\partial u_z}{r \partial r} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) + m_\ell \left(\frac{\partial^2 w_z}{\partial r^2} + \frac{\partial w_z}{r \partial r} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right) + \rho F_z.$$

Можно пренебречь φ при течении текучей среды по трубопроводу, тогда уравнения (4) и (5) будут иметь такой вид:

$$\rho \frac{\partial u_z}{\partial t} + \rho u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \rho u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial p}{\partial z} = \mu \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial r^2} + \frac{\partial u_z}{r \partial r} \right) + m_\ell \left(\frac{\partial^2 w_z}{\partial r^2} + \frac{\partial w_z}{r \partial r} \right), \quad (6)$$

$$\rho \frac{\partial u_r}{\partial t} + \rho u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + \rho u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} + \frac{\partial p}{\partial r} = \mu \left(\frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} + \frac{\partial u_r}{r \partial r} - \frac{u_r}{r^2} \right) + m_\ell \left(\frac{\partial^2 w_r}{\partial r^2} + \frac{\partial w_r}{r \partial r} - \frac{w_r}{r^2} \right). \quad (7)$$

Уравнение неразрывности изменяется в виде

$$\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{u_r}{r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0. \quad (8)$$

Чтобы устранить давление и перевести вихревое уравнение, дифференцируем (6) по r , а (7) – по z , и после некоторых изменений получим следующие уравнения:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u_r \frac{\partial \zeta}{\partial r} + u_z \frac{\partial \zeta}{\partial z} + \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial r} \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) - \left(\frac{\partial u_r}{\partial z} \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) =$$

$$= \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^3 u_z}{\partial r^3} - \frac{\partial u_z}{r^2 \partial r} + \frac{\partial^2 u_z}{r \partial r^2} - \frac{\partial^3 u_r}{\partial z \partial r^2} - \frac{\partial^2 u_r}{r \partial z \partial r} + \frac{\partial u_r}{r^2 \partial z} \right) +$$

$$+ \frac{m_\ell}{\rho} \left(\frac{\partial^3 w_z}{\partial r^3} - \frac{\partial w_z}{r^2 \partial r} + \frac{\partial^2 w_z}{r \partial r^2} - \frac{\partial^3 w_r}{\partial z \partial r^2} + \frac{\partial^2 w_r}{r \partial z \partial r} - \frac{\partial w_r}{r^2 \partial z} \right). \quad (9)$$

Упростив уравнения (9), получим их в следующем виде:

$$\left(\frac{\partial u_r}{\partial r} \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial r} \frac{\partial u_z}{\partial z}\right) - \left(\frac{\partial u_r}{\partial z} \frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \frac{\partial u_r}{\partial z}\right) = \frac{\partial u_z}{\partial r} \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial z}\right) - \frac{\partial u_r}{\partial z} \left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial z}\right),$$

$$\left(\frac{\partial u_r}{\partial r} + \frac{\partial u_z}{\partial z}\right) \left(\frac{\partial u_z}{\partial r} - \frac{\partial u_r}{\partial z}\right) = \zeta \cdot \left(-\frac{u_r}{r}\right) = -\zeta \frac{u_r}{r}. \quad (10)$$

$$\frac{\partial^3 u_z}{\partial r^3} - \frac{\partial u_z}{r^2 \partial r} + \frac{\partial^2 u_z}{r \partial r^2} - \frac{\partial^3 u_r}{\partial z \partial r^2} - \frac{\partial^2 u_r}{r \partial z \partial r} + \frac{\partial u_r}{r^2 \partial z} = \frac{\partial^2 \zeta}{\partial r^2} + \frac{\partial \zeta}{r \partial r} - \frac{\zeta}{r^2}. \quad (11)$$

И окончательно получим нестационарную двумерную систему уравнения течения вязко-инертной текучей среды по трубопроводу:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u_r \frac{\partial \zeta}{\partial r} + u_z \frac{\partial \zeta}{\partial z} - u_r \frac{\zeta}{r} = \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial r^2} + \frac{\partial \zeta}{r \partial r} - \frac{\zeta}{r^2}\right) + \frac{m_\ell}{\rho} \left(\frac{\partial^2 \chi}{\partial r^2} + \frac{\partial \chi}{r \partial r} - \frac{\chi}{r^2}\right). \quad (12)$$

Чтобы получить функцию тока для цилиндрической координаты, введём следующее уравнение:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = r \zeta. \quad (13)$$

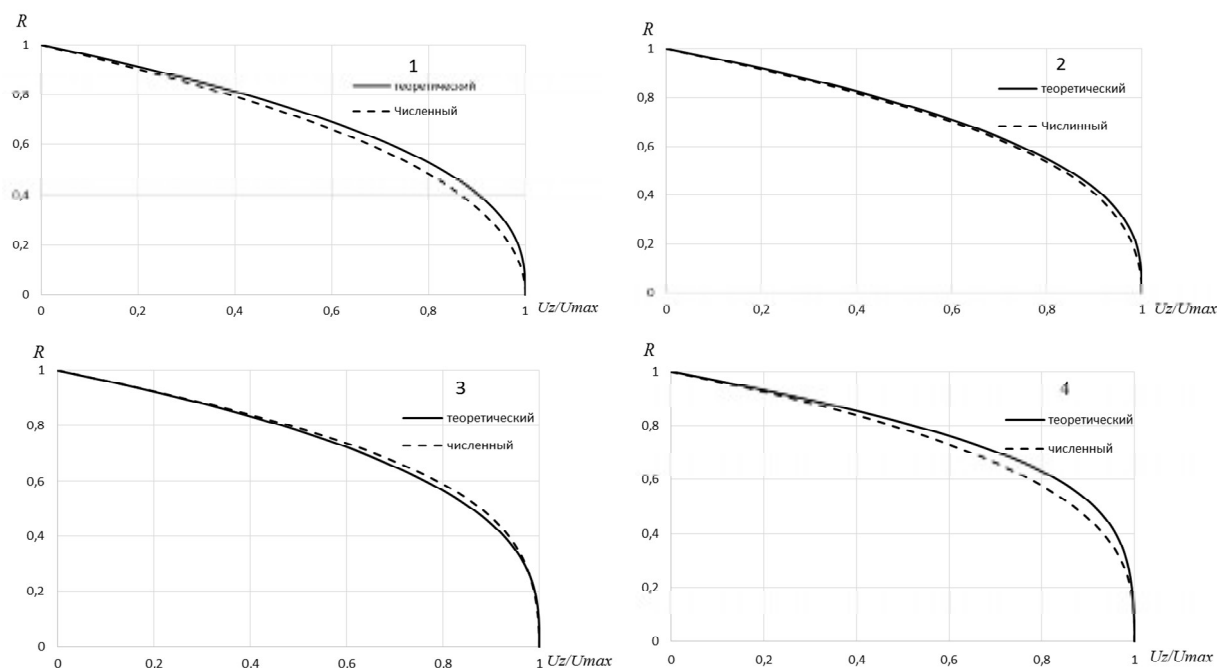
В силу нелинейности уравнений (12), (13) становится невозможным прямое решение системы и рассматриваемый процесс приобретает итерационный характер. Чтобы решить эту задачу, используем численный метод. Уравнение (13) решаем неявным итерационным методом Эйлера. Это схема первого порядка точности с погрешностью аппроксимации $O(\Delta t, (\Delta x)^2)$. Анализ устойчивости Неймана (анализ Фурье) показывает, что она устойчива при любом шаге по времени, т.е. абсолютно устойчива. Однако при использовании этой схемы на каждом шаге по времени приходится решать систему алгебраических уравнений.

Уравнение решается в области $-\{0 \leq r \leq H_r, 0 \leq z \leq H_z\}$ прямоугольнике со сторонами H_r и H_z , с граничными условиями I рода. В дальнейшем принимается $H_r=1$ м, $H_z=100$ м, с граничными условиями, заданными следующим образом:

$$\begin{cases} \psi(i, j) = r_j^2 / 2, \psi(i, 0) = 0, Vr(i, 0) = 0, Vz(i, 0) = 0, Vz(i, 0) = Vz(i, 1), \\ \alpha(Hr - 1) = 0, \beta(Hr - 1) = 0.5, \psi(i, Hr) = 0.5. \end{cases} \quad (14)$$

Для проверки правильности работы построенного алгоритма и программы были проведены сравнения расчетных данных с аналитическими результатами. На рисунке, 1 – 4 приведены эпюры продольной скорости при нестационарных двумерных течениях вязко-инертнодеформируемых сред по трубопроводу круглого сечения для разных значений линейной плотности m_ℓ и сопоставлены с одномерным стационарным случаем при $Re=U Hr/\mu=100$.

Как видно из $m_\ell=0.005$, аналитические и численные эпюры скоростей почти совпадают, и они соответствуют пуазейловскому параболическому виду для вязких сред, так как при очень малых m_ℓ . А начиная с $m_\ell=1$ до 2.5, явно видно, что при повышении значения m_ℓ в эпюрах скоростей постепенно появляется ядро, это можно объяснить тем, что при течениях вязко-инертнодеформируемых сред по трубе как вязкопластичной, среда Бингама и другое ядро течений не успевают за быстрым течением. Здесь также можно отметить, что аналитическая и численная эпюры скоростей почти совпадают.



Сравнительные эпюры скоростей: теоретической, одномерной и численной, двухмерной при m_ℓ :
 1 – 0.005; 2 – 0.25; 3 – 1; 4 – 2.5

Таким образом, предложенная математическая модель многофазных сред по трубопроводам с учётом деформации по инерции хорошо согласуется с тестовой задачей, т.е. с одномерным стационарным течением вязкоинертной среды по трубам. При малых m_ℓ течение превращается в вязкое Пуазейловское течение, а при достаточно больших m_ℓ частным случаем в вязкопластическое течение. Увеличение или уменьшение концентрации инертных деформируемых сред в процессе движения связано с уменьшением или увеличением концентрации вязких сред, увеличение первого связано с образованием надмолекулярных структур, а уменьшение – с разрушением этих структур. Чем больше концентрация инертных деформируемых сред, тем больше среда деформационно инертно сопротивляется движению. Эти результаты согласуются и с тем очевидным фактом, что молярные образования более инертны к изменению своего деформационного состояния, чем молекулы, подвижность которых гораздо больше относительно молей. Поэтому в средах с большими значениями молей, участвующих во внутреннем обмене, большее сопротивление относительно вязких жидкостей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. Учебник для вузов. Изд. 6-е, перераб. и доп. М.: Наука, 1987. – 840 с.
- [2] Астарита Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей / Пер. с англ. Под ред. Буевича Ю.А. М.: Мир, 1978. – 310 с.
- [3] Бибики Е. Е. Реология дисперсных систем. Л.: Химия, 1981. – 172 с.
- [4] Борщевский Ю. Т. Теория одно- и двухфазного турбулентного пограничного слоя. Киев: "Вища школа", 1975. – 192 с.
- [5] Рейнер М. Реология / Пер. с англ. Под ред. Григолюка Э.И. М.: Наука, 1965. – 324 с.
- [6] Малкин А. Я. Реология: концепции, методы, приложения / Пер. с англ. Спб.: Профессия, 2007. – 560 с.
- [7] Нигматулин Р. И. Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987. Ч.1. – 464 с; Ч.2. – 360 с.
- [8] Brennen Christopher E. Fundamentals of Multiphase Flows. Cambridge University Press, 2005. – 410 p.
- [9] Chhabra R.P., Richardson J.F. Non-Newtonian flow and applied rheology. Butterworth-Heinemann, USA, 2008.
- [10] Larson R. G. The Structure and Rheology of Complex Fluids. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- [11] Хусанов И. Н., Ходжаев Я. Д., Мирзоев А. А. Молярный перенос в двухфазной среде // Труды Института механики. Многофазные системы: теория и приложения, посвященные 20-летию со дня основания Института механики УНЦ РАН. Вып. 9. Уфа, 2 – 5 июля 2012. Уфа, 2012. С. 171 – 173.
- [12] Mirzoev A. A., Khusanov I. N. Model of quasi-linear rheodynamic medium and its solution // International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET). Vol. 5. Issue 10. October 2016. P. 37 – 42.
- [13] Силин Н. А., Витошкин Ю. К., Карасик В. М., Очеретько В. Ф. Гидротранспорт. Киев: Наукова думка, 1971. – 160 с.

- [14] Перес Б. Р. Исследование параметров гидравлического транспорта руд и концентратов в высоконасыщенных потоках: Дис. ... канд. техн. наук. Кривой Рог, 1970.
- [15] Мануэль В. А. Обоснование технологической схемы и параметров комплекса для транспортирования высококонцентрированной гидросмеси на латеритовых карьерах (Республика Куба): Дис. ... канд. техн. наук. СПГИ(ТУ), 2006. – 120 с.

Институт механики и сейсмостойкости сооружений
им. М.Т. Уразбаева АН РУз

Дата поступления
06.12.2018

А.А. Мирзоев, Я.Д. Ходжаев, М.Э. Мадалиев. Юқори концентрацияли суспензияларнинг цилиндрлик қувурларда деформацияланиши ва оқими жараёнларини математик моделлаштириши

Тоғ-кон рудаларини қазиб чиқариши, концентратлар ва бойитиши маҳсулотларни гидротранспорт усулида ташишини самарадорлигини оширишига амалий тадбиқи мавжуд бўлган ёпишқоқ-пластик ва ёпишқоқ-инерт деформацияланувчи мухитларнинг қувурларда оқимини математик моделлаштириши муаммоларни ҳал этишига қаратилган. И.Н. Хусанов томонидан киритилган инерция бўйича деформацияланиши тушунчасидан фойдаланган ҳолда, қўйилган масала шакллантирилган. Бу қўйилган масала уюмлар ва оқим функциялари тенгламаларига чекли айирмалар усулини қўллаган ҳолда ечилган.

A.A. Mirzoev, Ya.D. Khodjaev, M.E. Madaliev. Mathematical modeling of the processes of deformation and flow of highly concentrated suspensions in cylindrical pipelines

The article considers the improvement of mathematical modeling of deformation processes and the flow of highly concentrated suspensions (pulp) in cylindrical pipelines, taking into account the rheological model of viscous-inertly deformable media introduced by I.N. Khusanov using the concept of deformation properties by inertia, which has applied applications to improve the efficiency of mining of mining ores, concentrates and tailings for hydrotransport. The problem is solved using finite difference methods for the vortex equations and stream function.

УДК 532.546

Б.Х. ХУЖАЁРОВ, Ж.М. МАХМУДОВ, Ф.У. СУЛАЙМОНОВ

ФИЛЬТРАЦИЯ И ПЕРЕНОС ВЕЩЕСТВА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ДВУХЗОННОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ С УЧЕТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ

При переносе вещества в неоднородных пористых средах образуется неоднородное поле скоростей фильтрации, что существенно влияет на конвективные и диффузионные составляющие общего переноса [1 – 4]. Неоднородность среды при моделировании процесса может быть учтена различными способами. Одним из возможных путей является конкретизация зон среды с различными фильтрационно-ёмкостными характеристиками. При этом учитывается геометрия этих зон. В частности, могут быть рассмотрены среды в виде коаксиальных цилиндров с различными характеристиками [5 – 7]. В статье анализируется перенос вещества в такой среде с учетом неоднородного распределения поля скоростей.

Рассматривается цилиндрическая пористая среда с радиусом b с цилиндрической “макропорой” (пористая среда с высокой проницаемостью) в центре с радиусом a (рис. 1). Таким образом, область исследования задачи состоит из двух частей: $\Omega_1\{(r,x); 0 \leq x \leq \infty, 0 \leq r \leq a\}$ и $\Omega_2\{(r,x); 0 \leq x \leq \infty, a \leq r \leq b\}$, которые отличаются друг от друга фильтрационно-ёмкостными свойствами. С точки $(0, 0)$ подается жидкость с постоянным давлением $p_c = \text{const}$. При этом в среде образуется неоднородное двухмерное распределение скоростей фильтрации и давления. Первоначально в среде было постоянное давление $p_0, p_0 < p_c$.

Предположим, что внешняя цилиндрическая область Ω_2 имеет проницаемость k_2 , а внутренняя $\Omega_1 - k_1$, где $k_2 \ll k_1$. Внешняя боковая поверхность цилиндрической пористой среды Ω_2 не проницаема. Необходимо определить распределение давления, поле скоростей фильтрации, концентрацию вещества в цилиндрических областях в различные моменты времени. В отличие от двухзонного подхода [8,9] здесь в малопроницаемой зоне Ω_2 жидкость считается подвижной, но с малыми скоростями фильтрации.

Компоненты скорости фильтрации в Ω_1 и Ω_2 определяются как

$$v_{1x} = -\frac{k_1}{\mu} \frac{\partial p_1}{\partial x}, \quad v_{1r} = -\frac{k_1}{\mu} \frac{\partial p_1}{\partial r}, \quad (r, x) \in \Omega_1, \quad (1)$$

$$v_{2x} = -\frac{k_2}{\mu} \frac{\partial p_2}{\partial x}, \quad v_{2r} = -\frac{k_2}{\mu} \frac{\partial p_2}{\partial r}, \quad (r, x) \in \Omega_2, \quad (2)$$

где p_1, p_2 – давления в областях Ω_1, Ω_2 ; μ – коэффициент вязкости вещества.

Для определения давления в областях Ω_1, Ω_2 используем уравнение пьезопроводности [1,10]

$$\frac{\partial p_1}{\partial t} = \chi_1 \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial p_1}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 p_1}{\partial x^2} \right\}, \quad (r, x) \in \Omega_1, \quad (3)$$

$$\frac{\partial p_2}{\partial t} = \chi_2 \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial p_2}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 p_2}{\partial x^2} \right\}, \quad (r, x) \in \Omega_2, \quad (4)$$

$$\chi_1 = \frac{k_1}{\mu \beta_1^*}, \quad \chi_2 = \frac{k_2}{\mu \beta_2^*},$$

где χ_1, χ_2 – коэффициенты пьезопроводности; β_1^*, β_2^* – коэффициенты упругости среды ($\beta_1^* = \theta_1 \beta_{жс} + \beta_{c1}$, $\beta_2^* = \theta_2 \beta_{жс} + \beta_{c2}$); $\beta_{жс}$ – коэффициент объемной упругости жидкости; θ_1, θ_2 – пористости среды Ω_1 и Ω_2 ; β_{c1}, β_{c2} – коэффициенты объемной упругости сред Ω_1 и Ω_2 .

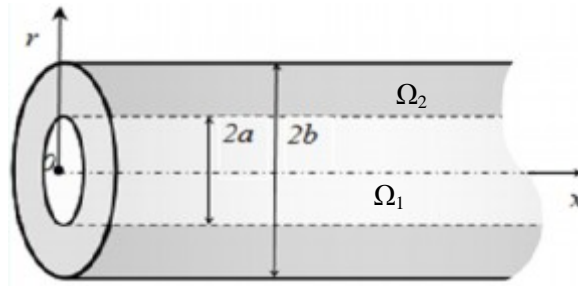


Рис. 1. Схема области фильтрации

Начальные и граничные условия имеют следующий вид:

$$p_1(0, r, x) = p_2(0, r, x) = p_0, p_0 = \text{const}, \quad (5) \quad p_1(t, 0, 0) = p_c, p_c = \text{const}, p_c > p_0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial p_1}{\partial x}(t, r, 0) = 0, \quad 0 < r \leq a, \quad (7) \quad \frac{\partial p_1}{\partial x}(t, r, \infty) = 0, \quad 0 < r \leq a, \quad (8)$$

$$\frac{\partial p_1}{\partial r}(t, 0, x) = 0, \quad 0 < x < \infty, \quad (9) \quad \frac{\partial p_2}{\partial x}(t, r, 0) = 0, \quad a < r \leq b, \quad (10)$$

$$\frac{\partial p_2}{\partial x}(t, r, \infty) = 0, \quad a < r \leq b, \quad (11) \quad \frac{\partial p_2}{\partial r}(t, b, x) = 0, \quad 0 < x < \infty, \quad (12)$$

$$k_1 \frac{\partial p_1}{\partial r}(t, a, x) = k_2 \frac{\partial p_2}{\partial r}(t, a, x), \quad 0 \leq x < \infty, \quad (13) \quad p_1(t, a, x) = p_2(t, a, x), \quad 0 \leq x < \infty. \quad (14)$$

Системы уравнений (1) – (4) с начальными и граничными условиями (5) – (14) позволяют определить поле давлений, скоростей фильтрации.

Для решения задачи (1) – (14) применим метод конечных разностей [11].

В области $\Omega_1 \cup \Omega_2$ введем конечно-разностную сетку

$$\Omega_{t_k, h_1, h_2} = \left\{ (t_k, x_i, r_j), t_k = \tau k, \tau = \frac{T}{K}, k = \overline{0, K}, x_i = ih_1, h_1 = \frac{L}{I}, i = \overline{1, I}, \right.$$

$$r_j = jh_2, \quad h_2 = \frac{a}{S}, \quad j = \overline{1, S}, \quad r_j = jh_2, \quad h_2 = \frac{b-a}{J-S}, \quad j = \overline{S+1, J}, \quad (15)$$

где τ – шаг сетки по времени; h_1 – шаг сетки по направлению x ; h_2 – шаг сетки по направлению r ; T – максимальное время, в течение которого исследуется процесс; S – количество интервалов по радиусу в макропоре; r – радиус окружающей среды; L – длина цилиндра; K – количество интервалов сетки по времени; I – количество интервалов по длине; J – общее количество интервалов по радиусу для среды.

На основе численного решения задачи проведена серия вычислительных экспериментов при следующих значениях исходных параметров: $\mu=10^{-1}$ Па·с, $\beta^*=10^{-9}$ Па $^{-1}$, $k_1=10^{-14}$ – $2.5 \cdot 10^{-14}$ м 2 , $k_2=10^{-15}$ – $2.5 \cdot 10^{-15}$ м 2 , $p_c=1.5 \cdot 10^5$ Па, $p_0=0$ Па, $T=2700$ с, $h_1=0.1$ м, $h_2=0.05$ м, $\tau=1$ с, $a=0.75$ м, $b=1.25$ м.

На рис. 2 отражены изобары при времени $t=900$ (а), 1800 (б) и 2700 (в) с. Как видно, в области Ω_1 давление растет заметно быстрее, чем в Ω_2 . Изгиб линий показывает, что в окружающей среде Ω_2 процесс идет медленнее, чем в макропоре. Такая же картина наблюдается и для распределения скоростей.

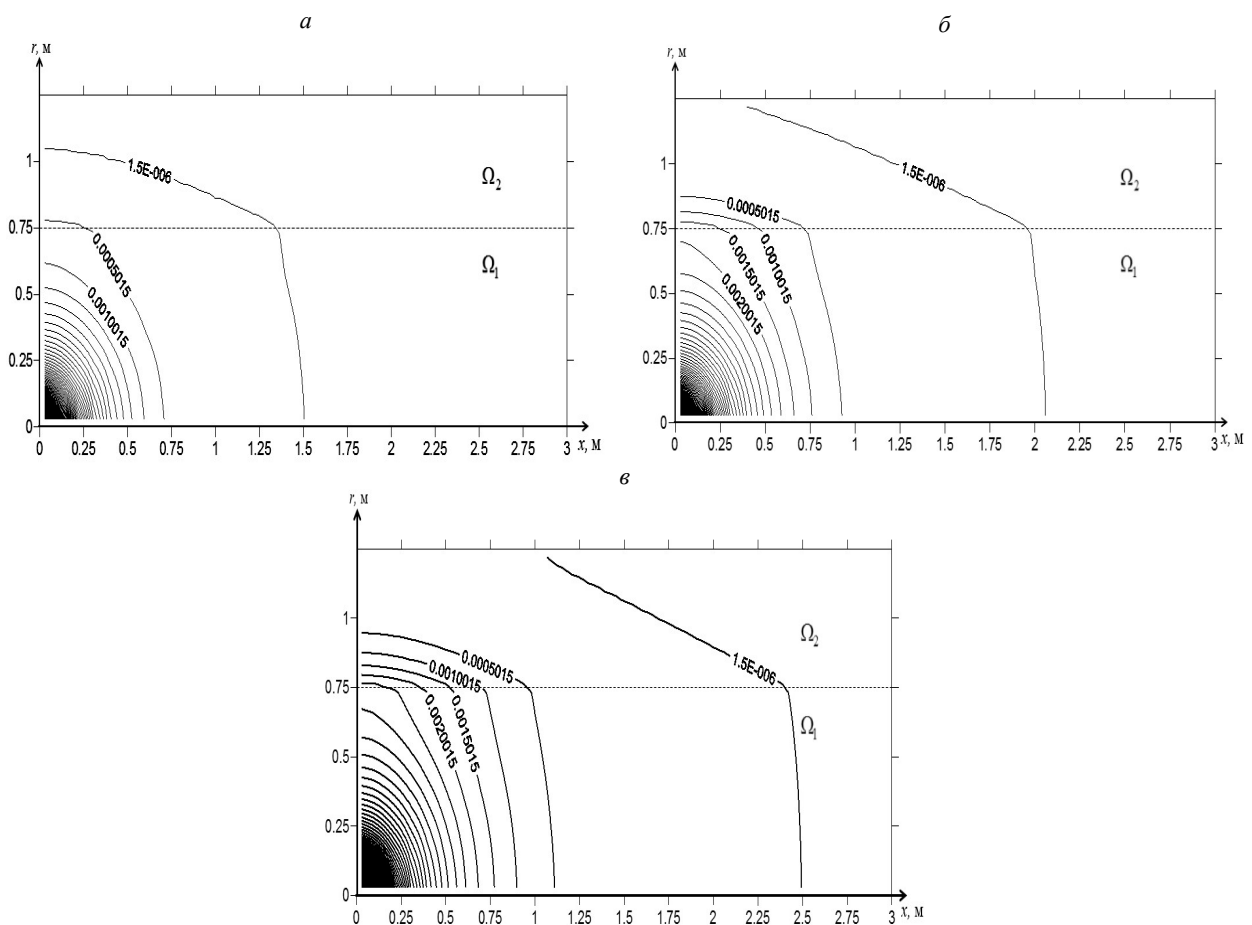


Рис. 2. Изобары (МПа) при $t=900$ (а), 1800 (б), 2700 (в) с, $k_1=10^{-14}$ м 2 , $k_2=10^{-15}$ м 2 (верхняя половина вертикального сечения области Ω)

На рис. 3 представлены линии уровня давления при увеличении значений коэффициента проницаемости в 2.5 раза для одного значения времени – $t=900$ с. Сравнивая результаты, представленные на рис. 2, а и 3, можно заметить, что увеличение значений коэффициентов проницаемости k_1 и k_2 приводит к ускорению продвижения фронта давления. На рис. 4 представлены линии уровня скоростей фильтрации для двух пар значений k_1 и k_2 . Сравнивая рис. 4, а с рис. 4, б, можно заметить, что увеличение проницаемости приводит к увеличению скорости фильтрации. Исходя из этого, можно сделать вывод о значительности влияния проницаемости на распределение давления и скорости вещества в пористой среде.

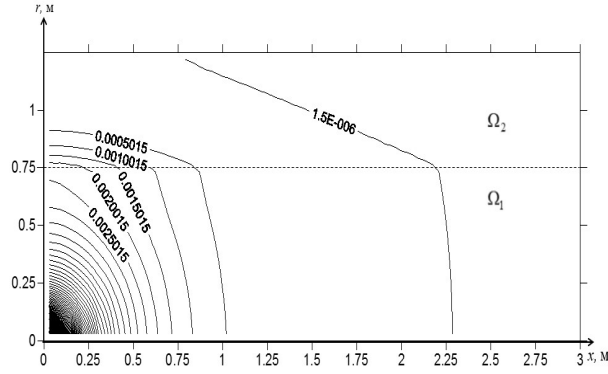


Рис. 3. Изобары (МПа) при $t=900$ с, $k_1=2.5 \cdot 10^{-14} \text{ м}^2$, $k_2=2.5 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ (верхняя половина вертикального сечения области Ω)

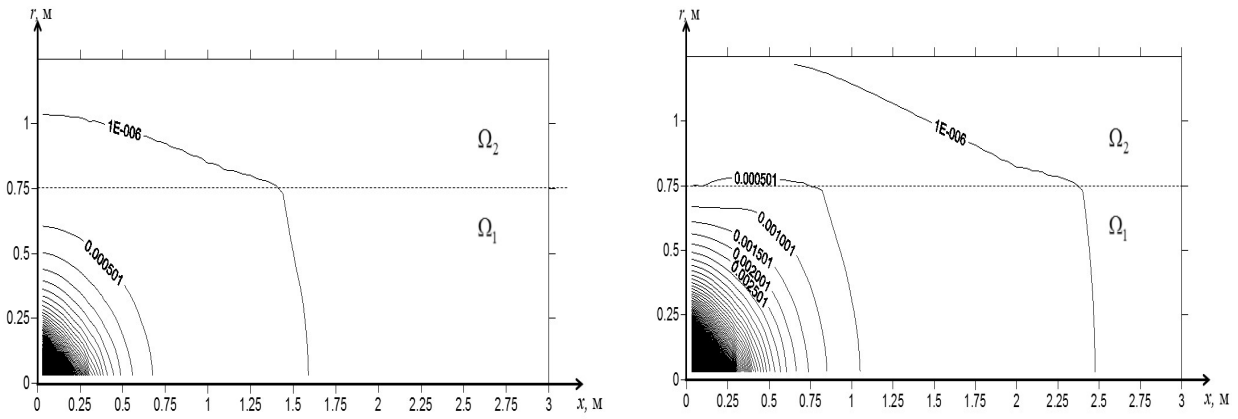


Рис. 4. Линии уровня скорости фильтрации $v \cdot 10^6$ (м/с) при $t=900$ с, $k_1=10^{-14} \text{ м}^2$, $k_2=10^{-15} \text{ м}^2$ (а), $k_1=2.5 \cdot 10^{-14} \text{ м}^2$, $k_2=2.5 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ (б) (верхняя половина вертикального сечения области Ω)

Теперь рассмотрим перенос вещества в рассматриваемой среде. Математическое описание переноса вещества в цилиндрической двухслойной среде включает в себя следующие уравнения:

$$\theta_1 \frac{\partial c_1}{\partial t} + v_{1x} \frac{\partial c_1}{\partial x} + v_{1r} \frac{\partial c_1}{\partial r} = \theta_1 D_1 \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c_1}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 c_1}{\partial x^2} \right\}, \quad (r, x) \in \Omega_1, \quad (16)$$

$$\theta_2 \frac{\partial c_2}{\partial t} + v_{2x} \frac{\partial c_2}{\partial x} + v_{2r} \frac{\partial c_2}{\partial r} = \theta_2 D_2 \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c_2}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 c_2}{\partial x^2} \right\}, \quad (r, x) \in \Omega_2, \quad (17)$$

где c_1 , c_2 – объемные концентрации; D_1 , D_2 – коэффициенты диффузии в Ω_1 и Ω_2 соответственно (здесь и далее индекс 1 соответствует макропоре, а 2 – окружающей пористой среде Ω_2).

Начальные и граничные условия для (16) – (17) имеют следующий вид:

$$c_1(0, r, x) = 0, \quad c_2(0, r, x) = 0, \quad (18) \quad c_1(t, 0, 0) = c_0, \quad c_0 = \text{const}, \quad (19)$$

$$\frac{\partial c_1}{\partial x}(t, r, 0) = 0, \quad 0 < r \leq a, \quad (20) \quad \frac{\partial c_1}{\partial x}(t, r, \infty) = 0, \quad 0 < r \leq a, \quad (21)$$

$$\frac{\partial c_1}{\partial r}(t, 0, x) = 0, \quad 0 < x < \infty, \quad (22) \quad \frac{\partial c_2}{\partial x}(t, r, 0) = 0, \quad a < r \leq b, \quad (23)$$

$$\frac{\partial c_2}{\partial x}(t, r, \infty) = 0, \quad a < r \leq b, \quad (24) \quad \frac{\partial c_2}{\partial r}(t, b, x) = 0, \quad 0 < x < \infty, \quad (25)$$

$$D_{1r}\theta_1 \frac{\partial c_1}{\partial r}(t, a, x) = D_{2r}\theta_2 \frac{\partial c_2}{\partial r}(t, a, x), 0 \leq x < \infty, \quad (26)$$

$$c_1(t, a, x) = c_2(t, a, x), \quad 0 \leq x < \infty. \quad (27)$$

Система уравнений (16), (17) решается при условиях (18) – (27) с учетом неоднородного распределения поля скоростей фильтрации. Эту задачу тоже решаем с применением метода конечных разностей [11].

В вычислениях использованы следующие значения исходных параметров: $\theta_1=0.2$, $\theta_2=0.01$, $D_1=2.5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, $D_2=2.5 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $c_0=0.01$, $\tau=1 \text{ с}$, $L=4 \text{ м}$, $a=0.75 \text{ м}$, $b=1.25 \text{ м}$.

Линии уровня концентрации c/c_0 приведены на рис.5. Как установлено, различие характеристик сред Ω_1 и Ω_2 отражается на распределении концентрации.

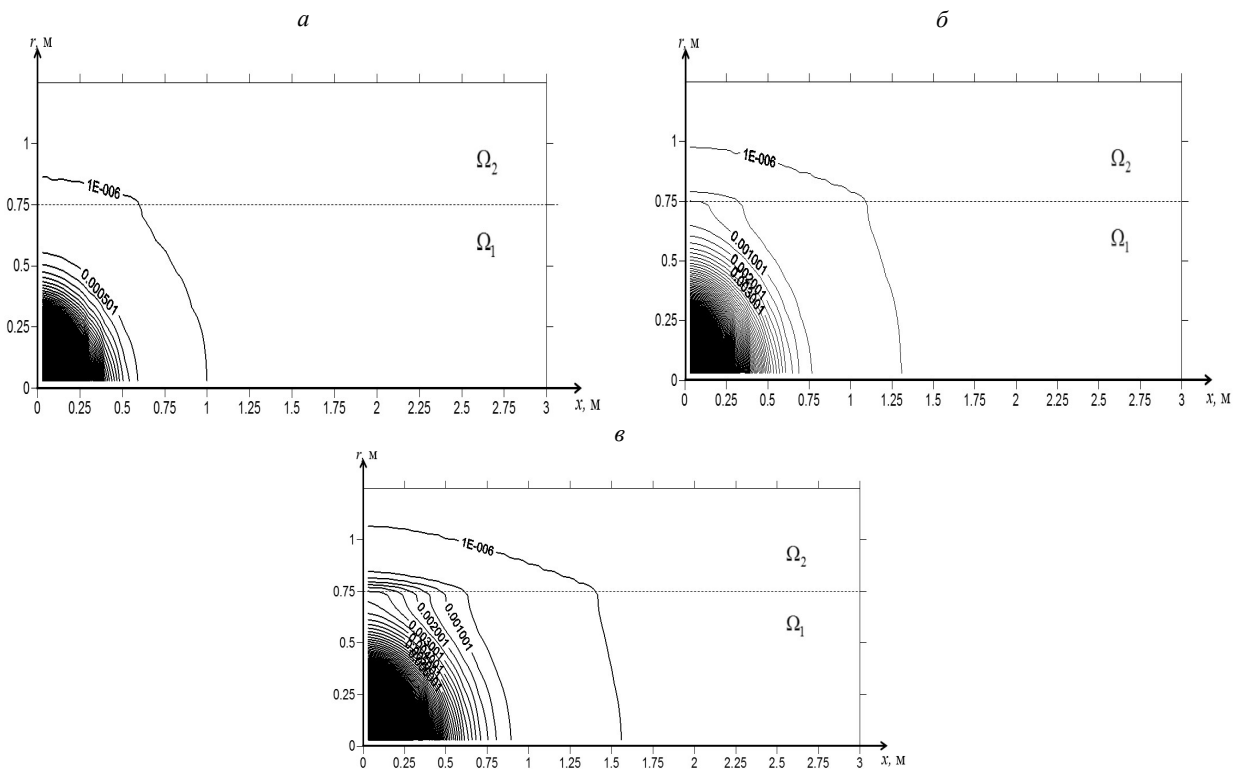


Рис.5. Линии уровня относительной концентрации c/c_0 при $t=900$ (а), 1800 (б), 2700 (в) с (верхняя половина вертикального сечения области Ω)

Основываясь на полученные результаты, можно сделать вывод о значительном влиянии проницаемости на распределение давления и скорости вещества в пористой среде. При этом на распространение концентрации изменение коэффициентов проницаемости особого влияния не оказывает. Расчеты показывают, что, если увеличить коэффициенты диффузии D_1 и D_2 в два раза, концентрации сравнительно увеличиваются в обеих областях среды, т.е. при больших значениях коэффициентов диффузии вещество распространяется интенсивнее.

Обобщая полученные результаты, можно заключить, что наличие зон с различными характеристиками существенно меняет как фильтрационные характеристики среды, так и параметры переноса вещества. Неоднородность распределения поля скоростей фильтрации существенно меняет общую картину переноса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В е а г J. Dynamics of fluids in porous media. American Elsevier Publishing Co. New York, 1972. – 764 p.
- [2] Х у ж а ё р о в Б. Х. Фильтрация неоднородных жидкостей в пористых средах. Ташкент: Фан, 2012. – 280 с.
- [3] Х у ж а ё р о в Б. Х., М а х м у д о в Ж. М. Математические модели фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах. Ташкент: Фан, 2014. – 280 с.
- [4] С l a r k М. М. Transport Modelling for Environmental Engineers and Scientists, John Wiley. New York, 1996.

- [5] Van Genuchten M.Th., Tang D.H., Guennelon R. Some exact solutions for solute transport through soils containing large cylindrical macropores // Water Resources Research. Vol. 20. 1984. № 3. P. 335 – 346.
- [6] Haws N.W., Paraskewich Jr.M.R., Hilpert M., Ball W.P. Effect of fluid velocity on model-estimated rates of radial solute diffusion in a cylindrical macropore column // Water Resour. Res. Amer. J. 2007. N. 43. W. 10409.
- [7] Rahman M.M., Liedl R., Grathwohl P. Sorption kinetics during macropore transport of organic contaminants in soils: Laboratory experiments and analytical modeling // Water Resour. Res. Amer. J. 2004. N. 40. W. 01503.
- [8] Coats K.H., Smith B.D. Dead-end volume and dispersion in porous media // Society of Petroleum Engineering Journal. 1964. N. 4(1). P. 73 – 84.
- [9] Gaudet J.P., Jégat H., Vachaud G., Wierenga P.J. Solute transfer, with exchange between mobile and stagnant water, through unsaturated sand // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1977. N. 41(4). P. 665 – 671.
- [10] Samarskii A.A. The theory of difference schemes. Pure and applied mathematics. Marcel Dekker Inc. New York, 2001. – 788 p.
- [11] Barenblatt G.I., Entov V.M., Ryzhik V.M. Theory of Fluid Flows Through Natural Rocks. Kluwer Academic Publisher, 1990. – 395 p.

Самаркандский государственный университет

Дата поступления
30.04.2018

Б.Х. Хўжайёров, Ж.М. Махмудов, Ф.У. Сулаймонов. Икки зонали цилиндрик говак муҳитда биржинсли бўлмаган тезлик майдони ҳисобга олганда модданинг кўчиши ва сизиши

Икки зонали ичма-ич жойлашган цилиндрик говак муҳитда модда кўчиши ва сизиши масаласи биржинсли бўлмаган тезлик майдонида қаралган. Муҳитда пьезоўтказувчанлик ва модда кўчиши тенглалари асосида босим тарқалиши, сизиш тезлиги ва нисбий концентрация майдони ҳар-хил бошланғич параметрлар учун таҳлил қилинган. Ҳисоблаш ва диффузия коэффициентларининг модда кўчиши ва сизишига таъсири ўрганилган.

B.Kh. Khuzhayorov, J.M. Makhmudov, F.U. Sulaymonov. Filtration and solute transport in a cylindrical two-zone porous with taking into account the nonhomogeneity of filtration velocity field

In the paper a filtration and solute transport problem in a two-zone cylindrical porous medium with nonhomogeneous velocity field is considered. On the basis of piezoconductivity and solute transport equations pressure, filtration velocity and solute concentration fields are determined for various initial parameters. The influence of the permeability and diffusion coefficients on the solute transport and liquid filtration is studied.

УДК 621.01:631.358:633.511

Н.Б. ДЖУРАЕВА

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ КУСТА ХЛОПЧАТНИКА ЧЕРЕЗ РАБОЧУЮ КАМЕРУ ХЛОПКОУБОРОЧНОГО АППАРАТА

Движение массы куста хлопчатника через рабочую зону, образованную двумя параллельно расположенными шпинделями на парноработающих барабанах, относится к классу задач о движении материала через сужающую область с целью определения давления в произвольном сечении и скорости выхода из рабочей зоны [1, 2].

Как известно, хлопок-сырец относится к классу плохо сыпучих и сжимаемых материалов. В первом приближении можно полагать материал несжимаемым и изменяющим свою форму за счет геометрии рабочей зоны. В такой постановке задача упрощается и сводится к определению давления и скорости в произвольном сечении рабочей зоны.

Предположим, что равнодействующая усилий от поперечного сжатия и проталкивания кустов хлопчатника через рабочую камеру приложена в одной и той же плоскости XOY (рис. 1), перпендикулярной к осям вращения смежных барабанов, центры которых располагаются в точках O, O_1 . Как видно из рис. 1, сечением единичного куста хлопчатника является криволинейная фигура СВЕД.

Принимаем, что состояние куста хлопчатника в области сечения СВЕД определяется его сжатием и параметры скорости движения его элементов зависят от координаты x , где ось Ox направлена снизу вверх, а начало координат установлено в середине нижнего сечения рабочей зоны. Как видно из рис. 1, наибольшее сжатие кустов хлопчатника шпинделями осуществляется в зоне ВЕ.

Считая процесс стационарным, предположим, что пространство между шпинделями заполнено массой (единичным кустом хлопчатника). Выделим из этой массы элемент dx и на основании [1] составим уравнение движения этого элемента

$$vb\rho \frac{dv}{dx} = -\frac{d(Pb)}{dx} + P(\sin \alpha \pm f \cos \alpha), \quad (1)$$

где $b=b(x)$ является функцией, определяющей ширину куста хлопчатника при входе в рабочую зону, и описывается формулой

$$b(x) = b_0 + \frac{x^2}{R}, \quad (2)$$

где b_0 – наименьшее расстояние между шпинделями; R – радиус барабана. В уравнении (1) плотность куста хлопчатника в зоне уплотнения ρ определяется по формуле

$$\rho = \rho_0 [1 + A(P - P_0)], \quad (3)$$

где ρ_0 – плотность куста хлопчатника до поступления в зону уплотнения; P_0 – давление куста хлопчатника при входе в рабочую зону; P – давление куста хлопчатника в зоне уплотнения; A – коэффициент сжатия, определяемый экспериментально.

Обозначим через Q_0 объем материала (элемента куста хлопчатника) на единицу длины шпинделя [кг/с], и примем, что куст хлопчатника при прохождении через зону сжатия сохраняет свою плотность ρ . Тогда из закона сохранения массы следует зависимость для скорости

$$v = \frac{Q_0}{b\rho L}, \quad (4)$$

где L – высота куста хлопчатника. Подставляя (3) в (4), получим

$$v = \frac{Q_0}{b\rho_0 L [1 + A(P - P_0)]}.$$

Так как $A \ll 1$, тогда следует

$$v = \frac{Q_0}{b\rho_0 L [1 + A(P - P_0)]} \approx \frac{Q_0}{b\rho_0 L} (1 - AP). \quad (5)$$

Дифференцируя соотношение (5) с учетом $A \ll 1$, получим

$$\frac{dv}{dx} = -\frac{Q_0}{b^2 \rho_0 L} \left(Ab \frac{dP}{dx} + b' \right). \quad (6)$$

Так как $A \ll 1$, следует

$$\rho = \rho_0 [1 + A(P - P_0)] \approx \rho_0, \quad (7)$$

$$v = \frac{Q_0}{b\rho_0 L} (1 - AP) \approx \frac{Q_0}{b\rho_0 L}. \quad (8)$$

Подставим (6), (7) и (8) в формулу (1) и в результате преобразований получим

$$-\frac{Q_0^2}{b^2 \rho_0 L^2} \left(Ab \frac{dP}{dx} + b' \right) = -\frac{d(Pb)}{dx} + P(\sin \alpha \pm f \cos \alpha). \quad (9)$$

Дифференцируя правую часть выражения (9), в результате несложных математических преобразований получим

$$\frac{dP}{dx} \left(b - \frac{Q_0^2 A}{b\rho_0 L^2} \right) = P \cdot \left(\frac{x}{R} \pm f - b' \right), \quad (10)$$

где $0 < x < a$, откуда следует, что при $x \ll 1$ имеем

$$\sin \alpha = \frac{x}{R}, \quad \cos \alpha = 1.$$

Равенство (10) представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка относительно давления P , которое интегрируется при граничном условии $0 < x < a$, где $a = 0.5R$. Знак перед коэффициентом трения (f – коэффициент трения шпинделей об элементы кустов хлопчатника [3, 4]) выбирается в зависимости от направления скорости (см. рис.1) криволинейного сечения СВЕД.

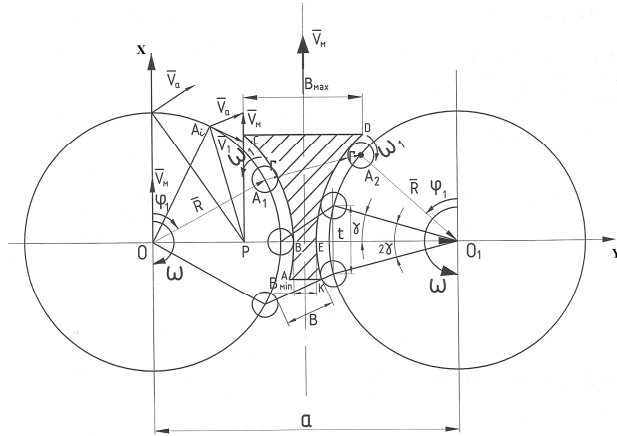


Рис. 1. Схема прохождения куста хлопчатника между шпинделями хлопкоуборочного аппарата

Для выбора знака при f проведем качественный анализ движения элемента куста хлопчатника в рабочей зоне. Скорость точек сечения $x=0$ больше линейной скорости $\omega \cdot R$ (угловая скорость шпинделя) вдоль дуги СВ окружности. Относительная скорость элементов куста хлопчатника в рабочей зоне положительная, и поэтому сила трения направлена в положительную сторону оси OX . Следовательно, на участке, примыкающем к этому сечению, знак при f возьмем положительным. Скорость точек сечения $x=R$ меньше линейной скорости $\omega \cdot R$. Значит относительная скорость элементов куста хлопчатника в рабочей зоне отрицательная, и, следовательно, сила трения направлена в отрицательную сторону оси OX .

Таким образом, на участке, примыкающем к этому сечению, знак при f возьмем отрицательным. На этом участке шпиндели затаскивают куст хлопчатника в рабочую зону, где сила трения будет активной и направлена противоположно оси OX . На другом участке, примыкающем к сечению $x=0$, сила трения сопротивляется движению куста хлопчатника и направлена противоположно оси OX .

Введем обозначения

$$F_0(x) = b - \frac{Q_0^2 A}{b \rho_0 L^2}, \quad F_1(x) = \frac{x}{R} \pm f - b'.$$

Тогда формула (10) примет вид

$$F_0(x) \frac{dP}{dx} = F_1(x) P, \quad \text{откуда следует} \quad \frac{dP}{dx} = \frac{F_1(x)}{F_0(x)} P.$$

Если обозначить $S(x) = \frac{F_1(x)}{F_0(x)}$, тогда получим

$$\frac{dP}{dx} = S(x) P. \quad (11)$$

Некоторое сечение $x=c$ ($0 < c < R$), имеющее скорость, равную линейной скорости элементов куста хлопчатника вдоль дуги СВ окружности, служит разделом указанных выше участков. Если на границах $x=0$ и $x=R$ приложены усилия, равные соответственно $P=0$ и $P=-P_0$, то для определения $P(x)$ внутри участка ($0 < x < R$) следует интегрировать (11) на участке $x > 0$, выбрав знак плюс перед коэффициентом f при условии $P=0$, а на участке $x < a$ – выбрать знак минус перед коэффициентом f при $P=-P_0$.

Итак, из вышеуказанного имеем:

- 1) При $x > 0$ уравнение (11) примет вид $\frac{dP_1}{dx} = S_1(x) P_1$,

где

$$S_1(x) = \frac{x}{R} + f - b'. \quad (12)$$

Так как $0 < x < c$, следует $P_1 = P_0 = 0$.

2) При $x < a$ уравнение (11) примет вид $\frac{dP_2}{dx} = S_2(x)P_2$,

где

$$S_2(x) = \frac{x}{R} - f - b'. \quad (13)$$

Далее уравнение (10) с учетом (13) примет вид

$$\frac{dP}{dx} = \frac{P \cdot \left(\frac{x}{R} - f - b' \right)}{b \cdot \left(1 - \frac{Q_0^2 A}{b^2 \rho_0 L^2} \right)}. \quad (14)$$

Принимая во внимание формулу (2), (14) перепишем в виде

$$\frac{dP}{dx} = \frac{P \cdot \left(\frac{x}{R} - f - b' \right)}{\left(b_0 + \frac{x^2}{R} \right) \cdot \left(1 - \frac{Q_0^2 A}{\rho_0 L^2 \left(b_0 + \frac{x^2}{R} \right)^2} \right)}. \quad (15)$$

Решение уравнения (15) имеет вид:

- в противоположном направлении оси OX

$$P_1 = P_0 e^{-\int_x^a \Phi_1(x) dx}; \quad (16)$$

- по направлению оси OX

$$P_2 = P_0 e^{\int_0^x \Phi_2(x) dx}, \quad (17)$$

где функции Φ_1 и Φ_2 определяются по формулам

$$\Phi_1(x) = \frac{\frac{x}{R} + f - b'}{bF_0(x)}, \quad \Phi_2(x) = \frac{\frac{x}{R} - f - b'}{bF_0(x)}, \quad (18)$$

$$F_0(x) = 1 - \frac{Q_0^2 A}{\rho_0 L^2 \left(b_0 + \frac{x^2}{R} \right)^2}. \quad (19)$$

Допустим, что давление P_0 при входе и выходе из рабочей камеры не меняется. Тогда, обозначив через $Z_1 = \frac{P_1}{P_0}$ и $Z_2 = \frac{P_2}{P_0}$ приведенные давления, перепишем формулы (18) и (19) в виде

$$Z_1 = e^{-\int_x^a \Phi_1(x) dx}, \quad (20)$$

$$Z_2 = e^{\int_0^x \Phi_2(x) dx}. \quad (21)$$

Если при заданном давлении $P(x)$ движение элемента куста хлопчатника в рабочей зоне возможно, то из условия равенства напряжений в сечении $x=0$ следует, что кривые $Z_1(x)$ и $Z_2(x)$ пересекутся в точке с абсциссой $x=c$. Исходя из этого, приравняв формулы (20) и (21), с учетом (18) получим

$$-\int_c^a \frac{x}{R} + f - b' \frac{1}{bF_0(x)} dx = \int_0^c \frac{x}{R} - f - b' \frac{1}{bF_0(x)} dx. \quad (22)$$

Точка $x=c$ является границей обоих участков ($x=0$ и $x=R$). При нахождении этой точки из соотношения $v = \frac{Q_0}{b_0(c)\rho_0(c)L}$ можно вычислить скорость движения отдельных элементов куста хлопчатника относительно шпинделей. Эта величина является переменной и в зоне максимального сжатия куста скорость близка к нулю. Численные расчеты проведены в среде программирования *Maple-8*.

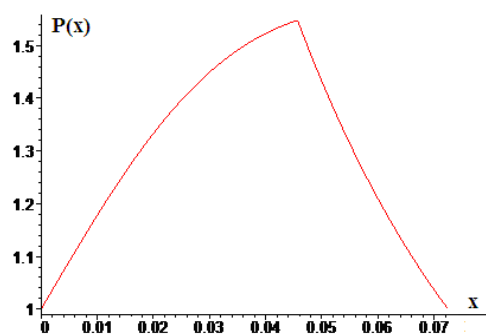


Рис. 2. Распределение приведенного давления элементов куста хлопчатника при взаимодействии с рабочей камерой

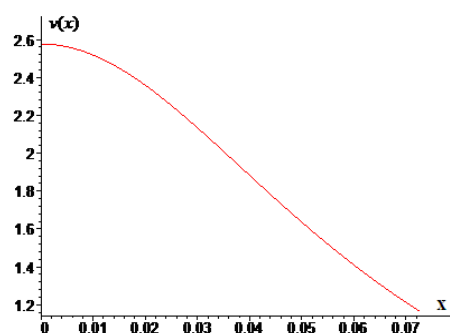


Рис. 3. Изменение скорости движения элементов куста хлопчатника в рабочей камере

В результате проведения теоретических и численных расчетов составлены графики распределения приведенного давления элементов куста хлопчатника при взаимодействии с рабочей камерой, а также изменения плотности и скорости движения куста хлопчатника при прохождении через рабочую зону (рис. 2, 3). Анализируя полученные графики, видим, что давление на куст хлопчатника увеличивается примерно в 1,5 раза в точке перехода $x=c$ и далее уменьшается до граничного значения. Скорость движения отдельных элементов куста хлопчатника относительно шпинделей является переменной и в зоне максимального сжатия куста она близка к нулю; в зоне сжатия куста хлопчатника образуется сечение, где при $x=c$ скорость движения отдельных элементов куста хлопчатника равна линейной скорости шпинделя, причем при входе в рабочую зону скорость меньше, чем при выходе почти в 2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ковган А. П. Исследование и технологические основы расчета хлопкоуборочной машины. М.: Машгиз, 1953.
- [2] Глущенко А. Д. Определение нагрузок на опоры шпинделя вертикально-шпиндельной хлопкоуборочной машины // Теория, расчет и конструирование хлопкоуборочных машин. Вып.2. Ташкент: Изд. АН УзССР, 1963.–380 с.
- [3] Матчанов Р. Д. Хлопкоуборочные машины 1929 – 2010 гг. Ташкент: «Fan va texnologiyalar». 2013. – 352 с.
- [4] Сухарев П. А. Исследование работы и износов опор шпинделя вертикально-шпиндельных хлопкоуборочных машин: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ташкент, 1961. – 42 с.

Н.Б. Джурова. Пахта териш аппаратининг ишичи камераси орқали гўза тупининг ҳаракатланиш тезлиги ва унинг босим тақсимотининг ҳисоблаш усули

Мақолада параллел жойлашган шпинделлар орасидаги ишичи зонасида гўза тупининг ҳаракатланиш тезлиги ва унинг босим тақсимотининг ҳисоблаш усули келтирилган.

N.B. Djuraeva. The numerical analysis of distribution of pressure and speed of the movement of a bush of a cotton via the working camera of the cotton-picking device

The numerical analysis of distribution of pressure and speed of the movement of a bush of a cotton through the work area formed by two in parallel the located spindles is provided in article.

УДК 621.01

Ш. КЕНЖАБОВ, В. ТУРДАЛИЕВ

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТРЕНИЯ В КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПАРЕ ПЯТОГО КЛАССА С ПРОДОЛЬНЫМИ ПАЗАМИ

Анализ конструкций вращательной кинематической пары пятого класса. В общей теории машин и механизмов кинематической парой принято называть подвижное соединение двух соприкасающихся звеньев. На относительное движение каждого звена кинематической пары накладываются ограничения, зависящие от способа соединения звеньев пары. Эти ограничения называются условиями связи в кинематических парах [1]. В зависимости от наложенного ограничения движения звеньев кинематические пары разделены на пять классов. Если на движение звеньев, образующих кинематическую пару, наложено пять из шести движений (в пространстве свободное звено имеет 6 движений), то эта кинематическая пара будет пятого класса. Относительное движение звеньев, образующее кинематическую пару, может быть либо вращательным, либо поступательным.

Известная вращательная кинематическая пара пятого класса образована двумя цилиндрами, находящимися в постоянном соприкосновении. При этом бурты внутреннего цилиндра препятствуют движению одного цилиндра относительно другого в осевом направлении, но не препятствуют вращению одного из них относительно другого [1].

Основным недостатком данной конструкции вращательной кинематической пары пятого класса являются низкий ресурс работы из-за значительного трения и износа элементов кинематической пары, особенно при высоких скоростных режимах работы, а также снижение точности движения и появление шума.

В другой известной конструкции вращательной кинематической пары пятого класса содержится цилиндр (вал) с буртиками, установленный в подшипнике скольжения, при этом вал вращается относительно неподвижного подшипника, который составляет вращательную кинематическую пару пятого класса. Для увеличения ресурса работы имеется отверстие в корпусе подшипника, через которое подается смазочная жидкость, позволяющая уменьшать трение и износ элементов (цилиндрических поверхностей) кинематической пары [2]. Недостатком данной конструкции является низкий ресурс работы из-за неравномерной смазки всей площади элементов кинематической пары. В связи с этим для повышения ресурса работы и увеличения точности передачи движения вращательной кинематической пары пятого класса разработана новая эффективная конструкция.

Новая конструктивная схема кинематической пары пятого класса. Сущность конструкции заключается в том, что вращательная кинематическая пара пятого класса состоит из двух цилиндров, находящихся в постоянном соприкосновении и способствующих вращаться только относительно друг к другу, при этом внутренний цилиндр имеет продольные канавки с определенным шагом и глубиной, причем канавки в поперечном сечении имеют часть круга. Предлагаемое исполнение вращательной кинематической пары пятого класса обеспечивает равномерное смазывание поверхностей элементов кинематической пары за счет запаса смазок в продольных канавках внутреннего цилиндра. Кроме того, уменьшается общая площадь соприкосновения цилиндрических поверхностей между собой, что снижает трение и их износ и повышает ресурс работы кинематической пары.

Конструкция состоит из внутреннего цилиндра (вала) 1 (рис. 1), установленного в цилиндрическое отверстие 3 корпуса 5, которые постоянно соприкасаются, и цилиндр 1 имеет возможность только вращаться относительно неподвижного цилиндра 3 корпуса 5. При этом их относительное движение по оси цилиндров 1 и 3 отсутствует за счет выполнения буртиков 4 цилиндра (вала) 1. Цилиндр 1 располагает продольными канавками 6 с определенным шагом и глубиной, имеющими в поперечном сечении форму части круга. Цилиндр 3 корпуса 5 имеет отверстие 2 для подачи смазочного материала в элементы кинематической пары. Конструкция работает следующим образом. В процессе работы цилиндр (вал) 1 вращается относительно цилиндра 3 корпуса 5. Смазочный материал подается через отверстие 2 в элементы кинематической пары. При этом смазочный материал позволяет снижать трение и тем самым и износ цилиндров 1 и 3. Излишки смазочного материала запасаются в канавках 6. За счет центробежных сил смазочный материал постоянно будет снабжать зону трения между цилиндрами 1 и 3. Буртики 4 цилиндра 1 ликвидируют продольные относительные движения цилиндров 1 и 3. За счет канавок 6 площадь контакта между цилиндрами 1 и 3 уменьшается, тем самым снижаются трение и износ цилиндров 1 и 3.

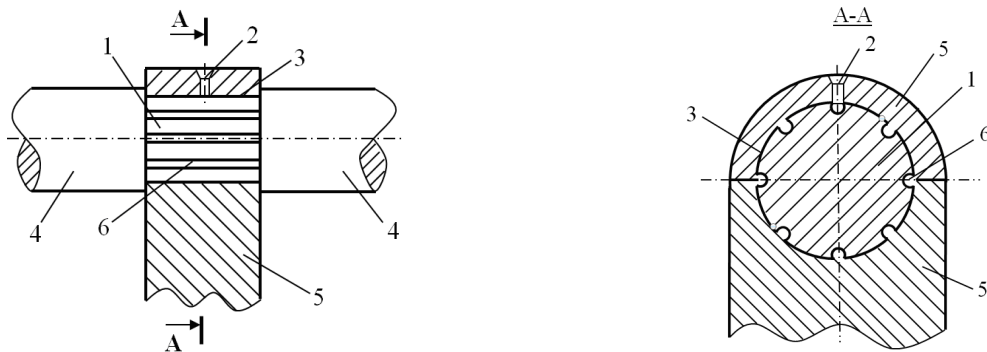


Рис. 1. Вращательная кинематическая пара пятого класса с продольными канавками

Методика определения трения в кинематической паре пятого класса с продольными пазами. Известно, что основной проблемой работы кинематических пар, шарниров в рычажных механизмах являются значительное трение и износ в шарнирах [3]. Физика трения в шарнирах заключается в сопротивляемости относительному движению трущихся цилиндрических поверхностей за счет микронеровностей. При этом контактная площадь при существующих шарнирах определяется из выражения

$$F_1 = 2\pi RL, \quad (1)$$

где R – радиус оси, м; L – длина шарнира, м.

В рекомендуемой конструкции площадь контакта уменьшается за счет продольных канавок и определяется из следующего выражения:

$$F_2 = (2\pi R - ia)L, \quad (2)$$

где a , i – ширина и количество канавок на поверхности оси шарнира.

При этом реакция при взаимодействии оси с цапфой шарнира, согласно [4], определяется из формулы

$$N = qF_2, \quad (3)$$

где q – давление цапфы на ролик, Н/м².

Тогда момент трения в шарнире определяется из выражения

$$M_{mp} = fqRb(2\pi R - ia)L, \quad (4)$$

где f – коэффициент трения; b – коэффициент, учитывающий смазку трущихся поверхностей за счет смазочного материала, запасенного в канавках оси кинематической пары пятого класса.

На рис. 2 представлены графические зависимости изменения момента трения в кинематической паре пятого класса от изменения шарнира и количества продольных канавок на поверхности оси шарнира. Анализ полученных графиков показывает, что увеличение ширины канавок оси шарнира от 0.25 до 2.0 мм при количестве канавок 6 приводит к уменьшению момента от сил

трения в кинематической паре пятого класса по нелинейной закономерности от $0.382 \cdot 10^2$ до $0.181 \cdot 10^2$ Нм, а при количестве канавок 18 момент трения $M_{тр}$ уменьшается до $0.04 \cdot 10^2$ Нм. Таким образом, выбирая необходимые значения a и i , можно значительно уменьшить трение в кинематической паре пятого класса рекомендуемой конструкции.

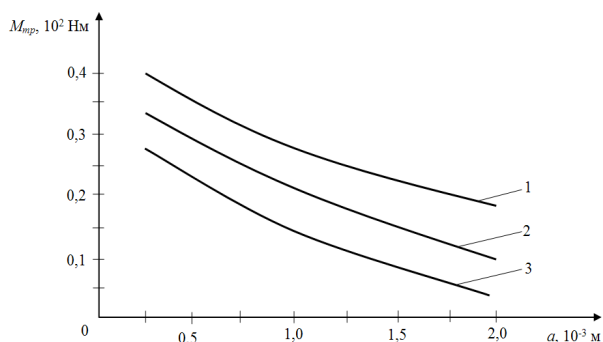


Рис. 2. Графические зависимости изменения момента трения во вращательной кинематической паре пятого класса с канавками от изменения ширины канавки: 1 – при $i=6.0$; 2 – при $i=12.0$; 3 – при $i=18.0$

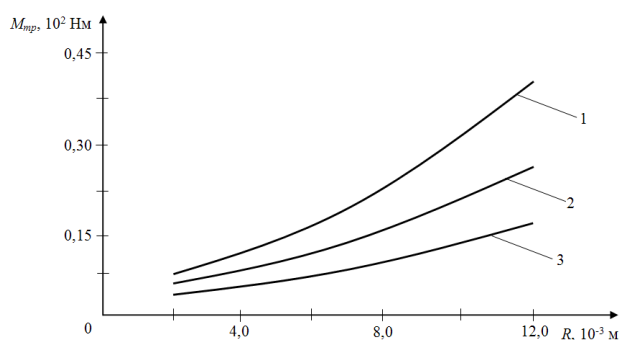


Рис. 3. Графические зависимости изменения момента трения во вращательной кинематической паре пятого класса с канавками и смазочным материалом от изменения радиуса шарнира: 1 – при $b=0.65$; 2 – при $b=0.5$; 3 – при $b=0.35$

На рис. 3 представлены графические зависимости изменения момента трения во вращательной кинематической паре пятого класса от изменения радиуса оси шарнира и степени смазки пары. При этом с увеличением радиуса оси шарнира от 2.0 до 12.0 мм при коэффициенте, учитывающем степень смазки $b=0.35$, момент трения $M_{тр}$ увеличивается от 2.85 до 16.2 Нм, а при $b=0.65$ момент трения доходит до 38.9 Нм. Следует отметить, что смазка трущихся поверхностей осуществляется за счет запаса смазочного материала, находящегося в канавках оси шарнира. При этом, чем больше степень смазки пары, тем меньше значение коэффициента « b ».

Вывод. Разработана эффективная конструктивная схема вращательной кинематической пары пятого класса с продольными канавками на поверхности оси шарнира. Приводится методика расчета трения в кинематической паре.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1988. – 640 с.
 [2] Жураев А. и др. Механизм ва машиналар назарияси. Тошкент: Ғ. Фулом нашриёти, 2004. – 452 б.
 [3] Усмонохужаев Х. Х. Машина ва механизмлар назарияси. Тошкент: Ўқитувчи, 1970. – 520 б.

Наманганский инженерно-строительный институт

Дата поступления
31.07.2018

Ш. Кенжабоев, В. Турдалиев. Бўйлама ўйқчали бешинчи синф кинематик жуфтлик конструкциясини ва ишқаланишининг ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиши

Мақолада бешинчи синф айланма кинематик жуфтли самарали, ресуртежамкор конструкцияси ва ишлаш принципи берилган. Кинематик жуфтда ишқаланиш ва едирилишни камайтириш учун шарнир ўқи сиртида ўқ бўйлаб мойнинг захирасини сақлаш учун ариқчалар очилган. Тавсия қилинган кинематик жуфтдаги ишқаланишни ҳисоблаш методикаси ва сонли қўйматлари келтирилган. Олинган боғланишлар асосида параметрларнинг тавсия қўйматлари берилган.

Sh. Kenjaboev, V. Turdaliev. Development of the design and procedure for calculating friction in a fifth-class kinematic pair with longitudinal grooves

The article presents an efficient, resource-saving design and operation principle of a kinematic rotational pair of the fifth class, with longitudinal grooves on the surface of the hinge axis for recording the lubricant, reducing friction, and wear to the kinematic pair. The technique and results of an approximate numerical calculation of friction in the recommended kinematic pair are given. The analysis of the obtained dependences of the parameters and the choice of their values are given.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗУБЧАТО-РЕМЕННОЙ ПЕРЕДАЧИ С СОСТАВНЫМ ШКИВОМ

В области машиностроения известно большое количество видов передач, включая зубчатую, цепную, ременную и т.п. Зубчатые передачи отличаются точным передаточным числом, а также могут обеспечивать большое передаточное число и выдерживать высокие нагрузки. Однако указанная передача может быть использована только при малых расстояниях между двумя валами передачи. Если расстояние между двумя валами передачи большое, то обычно выбирают цепную или ременную передачу [1]. При этом цепная передача, в основном, осуществляется зацеплением между цепью и звездочкой, тем не менее, цепная передача по своему характеру имеет недостатки, такие как приложение нагрузки с мгновенным ударом, который возникает при использовании цепной передачи с низким передаточным числом [2]. Указанная передача подходит только при условии низкой скорости передачи и при отсутствии приложения нагрузки с мгновенным ударом.

Зацепление и контакт между цепью и цепным колесом представляют собой зацепление между двумя жесткими компонентами, в то время как зацепление между ремнем и шкивом представляет собой зацепление между жестким компонентом и одним гибким (мягким) компонентом, причем указанные два зацепления значительно отличаются друг от друга. Если в зацеплении находятся два жестких компонента, то характер зацепления указанных двух компонентов должен быть в полном соответствии, поскольку самое малое несоответствие может вызвать зацепление с зазором и зацепление с натягом. Однако, если в зацеплении находятся один жесткий компонент и один гибкий компонент, то благодаря гибкости гибкого компонента зацепление с натягом между жестким компонентом и гибким компонентом также может удовлетворять требованиям зацепления, так как жесткий компонент сжимает гибкий компонент до необходимого зацепляющего размера и таким образом осуществляет зацепление [3].

Обычная ременная передача, в основном, представляет собой фрикционную передачу (треугольный ремень или клиновой ремень) и передачу зацеплением (зубчатый ремень). Фрикционную передачу обычно используют в условиях высокой мощности, тяжелой нагрузки и с учетом требования защиты от перегрузки, при этом для фрикционной передачи в целом используют резину и пластик или эластичные материалы, причем упругое проскальзывание и упругая деформация неизбежны во время процесса передачи. При этом утверждается [4, 5], что во фрикционных передачах упругое скольжение в паре трения (т. е. износ) возникает при любой нагрузке. Таким образом, проскальзывание и холостое вращение также неизбежны во время процесса передачи. В работе [6] предлагается уточненная методика определения коэффициента, учитывающего характер нагрузки и режим работы передачи. В [7] рассматривается обратная задача – для заданной долговечности ремня определяется максимальное напряжение ведущей ветви и находятся напряжение начального натяжения, окружное усилие и размеры сечения, обеспечивающие заданную долговечность. Наиболее полно вопросы расчета долговечности ременных передач рассмотрены в [8, 9].

Однако зубчатая ременная передача сконструирована на основе теории передач зацеплением и имеет точное передаточное число, а также благодаря взаимоотношению зацепления между ремнем и ременным шкивом проскальзывание и холостое вращение не происходят во время процесса передачи в связи с чем это применимо только для передачи малой нагрузки.

Надежность зубчато-ременной передачи определяется надежностью приводного зубчатого ремня. Мировой опыт промышленной эксплуатации зубчато-ременных передач свидетельствует, что преобладающим видом повреждения зубчатых ремней, оснащенных износостойким покрытием рабочей поверхности, является усталостное разрушение зубьев (75 – 80 %) [2].

Приводной зубчатый ремень при передаче мощности подвергается комплексу динамических ударных нагрузок, вызывающих постоянное изменение его напряженно-деформированного состояния. Это способствует интенсивности протекания деструктивных явлений, определяющих несущую способность и долговечность передачи и ведущих к потере ее работоспособности. При малопеременных нагрузках применение обычных зубчато-ременных передач не предлагается.

Нами разработана новая конструкция зубчато-ременной передачи с составным ведомым шкивом (рис. 1).

В обычных зубчато-ременных передачах скорость движения V_1 зуба ремня, входящего в зацепление с зубом ведущего шкива, по мере её поворота остаётся по величине постоянной, а по направлению меняется, что приводит к изменению проекций скорости V_1 на оси X и Y (рис. 2, а)

Положение I:

$$V_{x\min} = V_1 \cos \varphi_1;$$

$$V_{y\max} = V_1 \sin \varphi_1. \quad (1)$$

Положение II:

$$V_{x\max} = V_1 \frac{\omega_1 t}{2 \cdot 10^3 \sin \varphi_1}; \quad V_{y\min} = 0. \quad (2)$$

Тогда средняя скорость ремня

$$V_{x\min} = \frac{1}{2}(V_{x\min} + V_{x\max}) = \frac{\omega_1 t}{4 \cdot 10^3} \left(\operatorname{ctg} \varphi_1 + \frac{1}{\sin \varphi_1} \right). \quad (3)$$

Скорость движения V_2 зуба, выходящего из зацепления с ведомым шкивом, и ее угловая скорость ω_2 зависят от вида движения шкивов (рис. 2, б).

Положение I:

$$V_{2\min} = V_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}; \quad \omega_{2\min} = \omega_1 \frac{r_1 \cos \varphi_1}{r_2 \cos \varphi_2}. \quad (4)$$

Положение II:

$$V_{2\max} = V_1; \quad \omega_{2\max} = \omega_1 \frac{r_1}{r_2}. \quad (5)$$

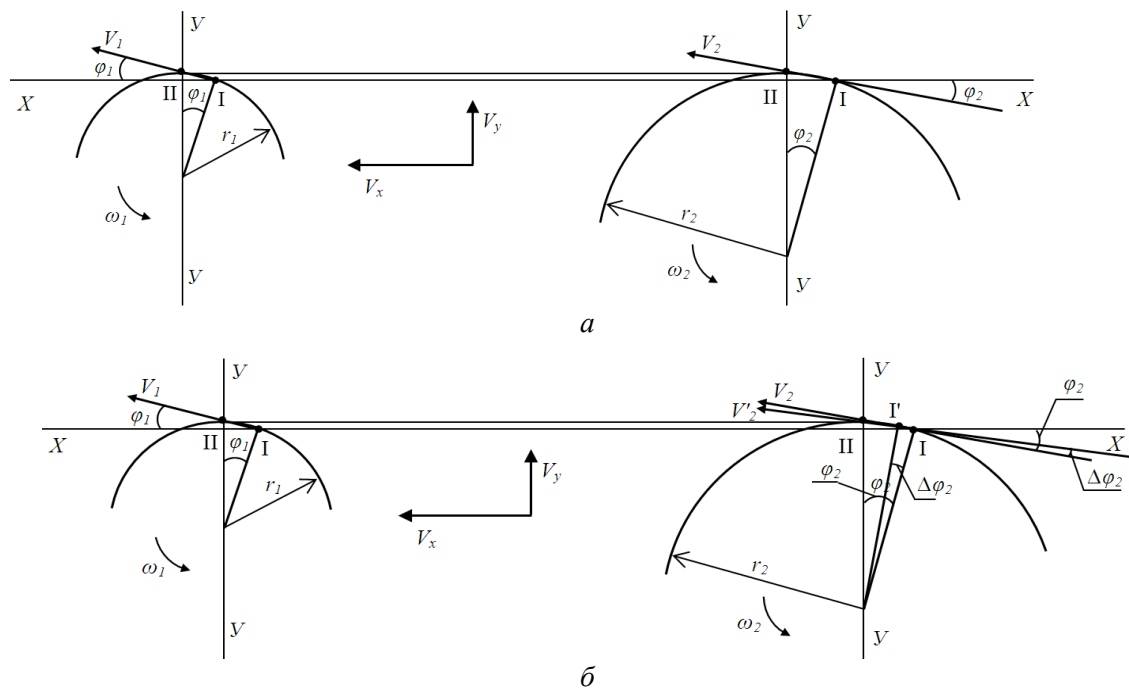


Рис. 2. Кинематическая расчетная схема зубчато-ременной передачи без резиновой втулки (а) и с резиновой втулкой (б)

Неравномерность угловой скорости ведомого шкива характеризуется коэффициентом кинематической неравномерности вращения

$$\delta_k = 2 \frac{\omega_{2\max} - \omega_{2\min}}{\omega_{2\max} + \omega_{2\min}} = 2 \frac{1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}}{1 + \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}}. \quad (6)$$

Рассмотрим следующий этап движения зубчато-ременной передачи с составным ведомым шкивом. При этом средняя скорость остаётся постоянной, а скорость движения и угловая скорость ведомого шкива изменяются в зависимости от дополнительного угла поворота $\Delta\varphi_2$.

Положение I:

$$V'_{2\min} = V_1 \frac{\cos \varphi_1}{\cos(\varphi_2 + \Delta\varphi_2)}; \quad \omega_{2\min} = \omega_1 \frac{r_1 \cos \varphi_1}{r_2 \cos(\varphi_2 + \Delta\varphi_2)}. \quad (7)$$

Положение II:

$$V'_{2\max} = V_1; \quad \omega_{2\max} = \omega_1 \frac{r_1}{r_2}. \quad (8)$$

При этом коэффициент кинематической неравномерности вращения будет

$$\delta_k = 2 \frac{1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos(\varphi_2 - \Delta\varphi_2)}}{1 + \frac{\cos \varphi_1}{\cos(\varphi_2 - \Delta\varphi_2)}}. \quad (9)$$

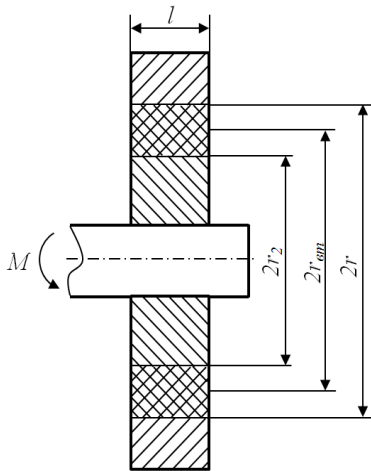


Рис. 3. Составной шкив в разрезе

На рис. 3 представлен составной шкив в разрезе.

Составной шкив в теоретических исследованиях рассмотрен как резинометаллический шарнир. Резинометаллические шарниры используются в узлах конструкций как упругие элементы, которые работают, главным образом, на коаксиальное кручение и осевой сдвиг. Деформация закручивания полого цилиндра из однородного материала рассмотрена в монографии [10]. В частном случае несжимаемого полуплоского материала задача сведена к системе двух трансцендентных уравнений относительно эйлеровых радиальной и окружной координат в деформируемой конфигурации. В [11] приведено аналитическое решение задач коаксиального закручивания и осевого сдвига цилиндра из несжимаемого материала на основе использования однопараметрической формы упругого потенциала.

Как известно из теории упругости, энергия деформации касательного напряжения в теле, имеющем объем V , может быть определена по формулам [12]

$$\Pi = \frac{\tau^2 V}{2G}, \quad \tau = \frac{M}{2\pi r_2^2 l}, \quad (10)$$

где τ – касательное напряжение в материале, соответствующее произведенной деформации, Па; G – модуль упругости материала, Па; M – внешний момент, Нм.

Принимая в качестве деформируемого тела объем элементарного цилиндра и приравнявая энергию деформации резиновой втулки к работе внешнего момента M , можно записать

$$dV = 2\pi r l dr, \quad \frac{1}{2} M \Delta\varphi_2 = \int_V \frac{\tau^2 dV}{2G}. \quad (11)$$

Подставляя значения τ из формулы (10) и интегрируя в пределах от r_2 до r_{om} , получим

$$\frac{1}{2}M\Delta\varphi_2 = \frac{M^2}{4\pi Gl} \int_{r_2}^{r_{em}} \frac{dr}{r^3} = \frac{M^2}{4\pi Gl} \cdot \frac{r_{em}^2 - r_2^2}{2r_{em}^2 r_2^2} \quad (12)$$

или

$$\Delta\varphi_2 = \frac{M}{4\pi Gl} \cdot \frac{r_{em}^2 - r_2^2}{r_{em}^2 r_2^2}. \quad (13)$$

Подставляя значение $\Delta\varphi_2$ из формулы (13) в выражение (9), получим

$$\delta_k = 2 \frac{1 - \frac{\cos\varphi_1}{\cos\left(\varphi_2 - \frac{M}{4\pi Gl} \cdot \frac{r_{em}^2 - r_2^2}{r_{em}^2 r_2^2}\right)}}{1 + \frac{\cos\varphi_1}{\cos\left(\varphi_2 - \frac{M}{4\pi Gl} \cdot \frac{r_{em}^2 - r_2^2}{r_{em}^2 r_2^2}\right)}}. \quad (14)$$

Решением задачи (14) можно определить пределы изменения угловой скорости шкива, а выбором необходимых законов его движения обосновать его параметры.

Численное решение задачи кинематики зубчато-ременной передачи производили при следующих значениях параметров: $M=(80-120)$ Нм; $G=(10-30) \cdot 10^5$ Н/м²; $\varphi_1=30^\circ$; $\varphi_2=30^\circ$; $l=3 \cdot 10^{-2}$ м; $r_{em}=10^{-1}$ м; $r_2=8 \cdot 10^{-1}$ м.

По результатам численных решений можно отметить, что коэффициент кинематической неравномерности δ_k вращения ведомого шкива увеличивается по линейной закономерности от увеличения внешнего момента. При этом увеличение модуля упругости G резиновой втулки ведомого шкива приводит к уменьшению коэффициента кинематической неравномерности δ_k вращения ведомого шкива. Следует отметить, что возрастание внешнего момента M от 20 до 120 Нм приводит к увеличению коэффициента кинематической неравномерности δ_k вращения ведомого шкива от 0.00125 до 0.007442 при значениях модуля упругости $20 \cdot 10^5$ Н/м² (рис. 4).

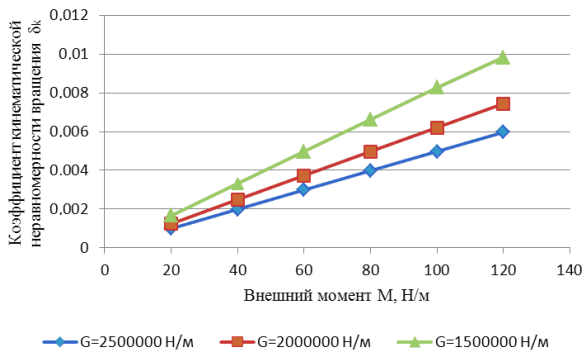


Рис. 4. Зависимости изменения коэффициента кинематической неравномерности вращения ведомого шкива от вариации внешнего момента

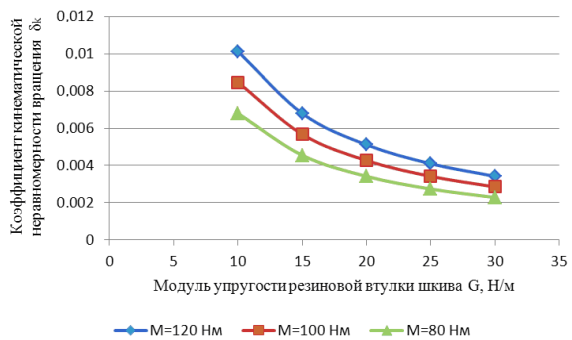


Рис. 5. Зависимости изменения коэффициента кинематической неравномерности вращения ведомого шкива от вариации модуля упругости резиновой втулки

На рис. 5 приведены графические зависимости изменения коэффициента кинематической неравномерности δ_k вращения ведомого шкива от изменения модуля упругости G резиновой втулки ведомого шкива. С увеличением модуля упругости G резиновой втулки от $10 \cdot 10^5$ до $30 \cdot 10^5$ Н/м² уменьшается коэффициент кинематической неравномерности вращения δ_k ведомого шкива по нелинейной закономерности от 0.008466 до 0.003422 при значениях внешнего момента 100 Нм. Анализ графиков показывает, что с возрастанием толщины резиновой втулки шкива $r_{em}-r_2$ возрастает коэффициент кинематической неравномерности вращения δ_k ведомого шкива по нелинейной закономерности (рис. 6).

Используя полученные графические зависимости, можно выбрать конкретные значения параметров, необходимые для технологических машин.

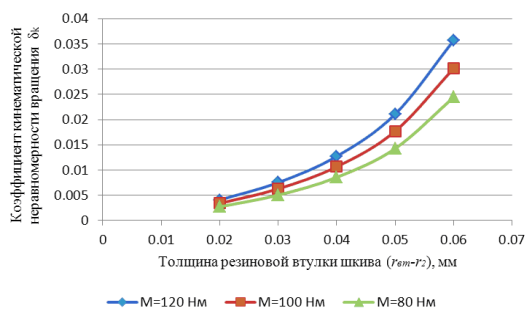


Рис. 6. Зависимости изменения коэффициента кинематической неравномерности вращения ведомого шкива от вариации толщины резиновой втулки шкива

то-ременной передачи. На основе численного решения задачи построены графические зависимости изменения коэффициента кинематической неравномерности вращения ведомого шкива от изменения внешнего момента, модуля упругости и толщины резиновой втулки.

Заключение. На основе анализа конструкций ременных передач разработана новая схема зубчато-ременной передачи с составным шкивом, включающая упругий элемент в виде резиновой втулки. Проведен кинематический анализ зубчато-ременной передачи с ведомым шкивом без и с резиновыми втулками. Получены выражения для определения максимальных и минимальных значений линейных и угловых скоростей шкивов, коэффициента кинематической неравномерности вращения ведомого шкива зубчато-

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иванов М. Н. Детали машин. М.: Высшая школа, 1976. – 399 с.
- [2] Беляев А. К. Динамическая устойчивость зубчато-ременной передачи // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. №2. С. 20 – 24.
- [3] Кенжабоев Ш., Турдалиев В., Абдуллажонов А. Инновационная конструкция ременной передачи для приводов технологических машин // Перспективы интенсивного подхода к инновационному развитию. Сборник материалов Международной конференции. Наманган, 2018. С. 351 – 352.
- [4] Вирабов Р. В. Тяговые свойства фрикционных передач. М.: Машиностроение, 1982. – 263 с.
- [5] Вирабов Р. В., Чепурной С. И. Тяговые свойства клиноременной передачи // Вестник машиностроения. 1981. № 4. С. 20 – 27.
- [6] Пожидаев Н. Н., Богданов Э. Ф. К расчету клиноременных передач кривошипных прессов на долговечность // Труды МВТУ. М.: Машиностроение, 1978. № 263. С. 88 – 100.
- [7] Буланов Э. А., Зубарев А. Расчет ременных передач на заданный ресурс // Вестник машиностроения. 1995. № 1. С. 18 – 20.
- [8] Буланов Э. А. Расчет ременных передач // Вестник машиностроения. 2001. № 12. С. 14 – 21.
- [9] Воробьев И. И. Ременные передачи. М.: Машиностроение, 1979. – 168 с.
- [10] Лурье А. И. Нелинейная теория упругости. М.: Наука, 1980. – 512 с.
- [11] Масленников В. Г., Сиротин М. И. Расчет предварительно-напряженных сварных резинометаллических шарниров // Каучук и резина. 1977. № 9. С. 28 – 31.
- [12] Потуряев В. Н. Резиновые и резинометаллические детали машин. М.: Машиностроение, 1966. – 300 с.

Наманганский инженерно-строительный институт

Дата поступления
28.09.2018

Ж. Мухамедов, В.М. Турдалиев, А.А. Қосимов, А.А. Абдуллажонов. Таркибли шкивли тишли-тасмали узатманинг кинематик таҳлили

Мақолада тишли-тасмали узатмаларни назарий тадқиқотлари ва ишлаб чиқаришдаги долзарб муаммоларни келтирилган ва шу асосда янги конструкциядаги резина втулка кўринишидаги қайиқоқ элементи бўлган таркибли шкивли тишли-тасмали узатма яратилиб, уни кинематик анализи, иш режимлари назарий ўрганилган. Тишли-тасмали узатмани етакланувчи шкивини резина втулкали ва резина втулкасиз кўринишини кинематик анализида, қайиқоқ элементни девормацияси ҳисобига ҳосил бўладиган қўшимча бурчак силжishi аниқланган. Таркибли шкивни максимал ва минимал чизиқли ва бурчак тезликларни қўшимча деформация натижасида ҳосил бўладиган силжishiлари ҳисобига олинган математик ифодалар келтириб чиқарилган ва уларни хар хил сон қийматларидаги ечимлари график кўринишида келтирилган.

J. Muxamedov, V.M. Turdaliyev, A.A. Qosimov, A.A. Abdullajonov. Kinematic analysis of toothed belt drive with compound pulley

The article substantiates the relevance and relevance of tooth-belt gears. The theoretical studies of the developed new design of the tooth-belt transmission, the analysis of the gear-belt gears, the operating mode, the tooth-belt transmission scheme with the composite pulley including the elastic element in the form of a rubber bushing and the kinematic calculation scheme of the tooth-belt transmission without a rubber bushing and with a rubber bushing are considered. A kinematic analysis of a tooth-belt transmission with a driven pulley without and with a rubber bushing is provided, as well as determining the additional angular displacement of the pulley due to deformation of the rubber bushing. An expression is derived for determining the maximum and minimum values of the linear and angular velocities of the pulleys, the coefficient of the kinematic unevenness of the driven pulley of the tooth-belt transmission, the additional angular displacement of the pulley due to the deformation of the rubber bushing, graphical dependences are plotted taking into account the approximate numerical values of the parameters of the zigzag-belt transfer.

ЯНГИ КОНСТРУКЦИЯЛИ СЕПАРАТОР ИШЧИ КАМЕРАСИДАГИ ПАХТА БЎЛАКЛАРИНИНГ ҲАРАКАТИНИ НАЗАРИЙ ТАДҚИҚОТИ

Пахта тозалаш корхоналарида пахтани ҳаводан ажратиш мақсадида сепаратор ускунасида кенг фойдаланилади. Сепараторнинг ишлаш жараёнида пахта ишчи камерага тушади. Мавжуд сепараторларда тўрли юза доира шаклида тайёрланган бўлиб, ишчи камеранинг ён томонларига ўрнатилган. Сепараторнинг ишчи камерасида ҳаводан ажралиш жараёни икки ён қисмида ҳаво сўрувчи қувур ва пахта ҳавога қўшилиб сўрилиб кетмаслиги учун доира шаклида тўрли сиртлар орқали амалга оширилади. Бунда пахтанинг 25 – 30% қисми тўрли юзага келиб урилади ва унга ёпишиб қолади. У сидиргич ёрдамида ажратиб олинади ва ўз оғирлиги билан пахта вакуум-клапанга тушади. Хомашё ҳаводан ажраган холда кейинги жараёнга узатилади [1 – 2].

Эластик сидиргич ва тўрли юза сепараторнинг асосий ишчи органи ҳисобланиб, у пахтадан ҳавони ажратиш жараёнида энг асосий ишни амалга оширади. Сепаратор ишлаганда унинг ишчи камерасида тўрли юзадан пахтанинг ўтиб кетиш имкони бўлмаганлиги учун унда ушланиб қолади. Ҳавонинг тортиш кучи таъсирида маълум куч билан тўрли юзада ушлаб турилган пахтани сидиргич ёрдамида ажратиб олинади. Сидиргични тўрли юзадан пахтани сидириб олиш жараёнида чигит синиши ва тола шикастланиши содир бўлади. Бундай нуқсонликларни содир бўлмаслигини таъминлаш мақсадида икки ён томон тўрли сиртларга бориб ёпишмаслиги учун пахтани пастга йўналтириб берувчи йўналтиргич ўрнатилган. Бундан ташқари, сепаратор тепа қисмига доира шаклида горизонтал тўрли сиртлар ўрнатилган. Тўрли сиртни юқорига ўрнатилганининг сабаби ҳаво сўрилганда пахта теппа қисмига ўрнатилган тўрли сиртга ёпишади ва кўп қисми ўз оғирлиги билан пастга йўналади, ҳамда тўрли сиртга ёпишган қисми осонгина сидиргич ёрдамида ажратиб олинади. Ён қисмдаги тўрли сиртга ёпишган пахта дан кўра юқори қисмига ўрнатилган тўрли сиртдан пахта ажралиши осон бўлади. Натижада, сепаратор орқали узатилаётган пахтанинг табиий сифатлари маълум даражада сақлаб қолиш имконияти вужудга келади.

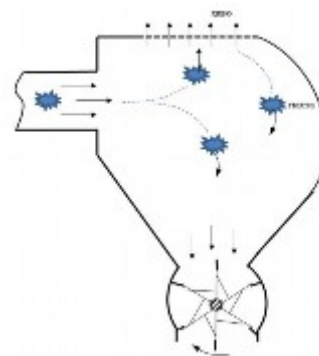
Шу сабабли икки жуфт-тўрли юзали сепаратор пахта тозалаш корхоналарига жорий этиш йўли билан пахта хомашёси таркибидаги нуқсонликларни олдини олувчи, чигит ва толанинг шикастланишини бартараф этувчи қурилмани яратиш мақсадга мувофиқдир [3].

Тақомиллашган сепаратор қурилмаси пневмотранспорт орқали ташилаётган пахта хомашёсини икки ён томонда вертикал ҳолатда жойлашган тўрли юзага ҳаво сўрилиши туфайли бориб ёпишиши ва тўрли юзадан сидиргич орқали ажратиб олиш натижасида чигит синишини ва толада вужудга келадиган нуқсонликларни олдини олиш мақсадида сепаратор кириш қувуридан сўнг пастга қараган йўналтиргич ўрнатилган бундан ташқари пахтадан ҳавони ажралиш жараёни тезлатиш мақсадида сепаратор тепа қисмига горизонтал ҳолатдаги бир жуфт тўрли юза ўрнатилган. Пахтани тўрли сиртга ёпишиши кам бўлади ва ажратиб олиш осон амалга ошади.

Таклиф этилаётган сепаратор қурилмасини ишчи камерасига кириб келган пахта хомашёси ишчи камеранинг тепа қисмида ўрнатилган тўрли юзага маълум қисми ёпишади ва сидиргич ёрдамида осонгина пастга қараб йўналади. Тўрли сиртга ёпишмаган ва йўналтиргич орқали пастга йўналган пахта хомашёси тўғри вакуум-клапанга тушади. Натижада чигит ва тола шикастланмайди ҳамда кейинги жараёнга юборилади.

Мавжуд сепараторлардан фарқли янги конструкцияли сепаратор (1-расм) ишчи камерасидаги пахта бўлакчаларини ҳаракатини назарий тадқиқотини кўриб чиқамиз.

Масалани қўйилиши. Маълумки, мавжуд пахтани ҳаво оқимидан ажратиб олувчи сепараторларда ҳавони чиқариб юборувчи тўрли сеткалар вертикал ҳолатда ишчи камеранинг икки ёнида жойлашган бўлади. Бунда пахта бўлакчаларини маълум қисми ҳаво билан тўрли сеткага ёпишиб, пахта ишчи камерасида пахталарни тикилиб,

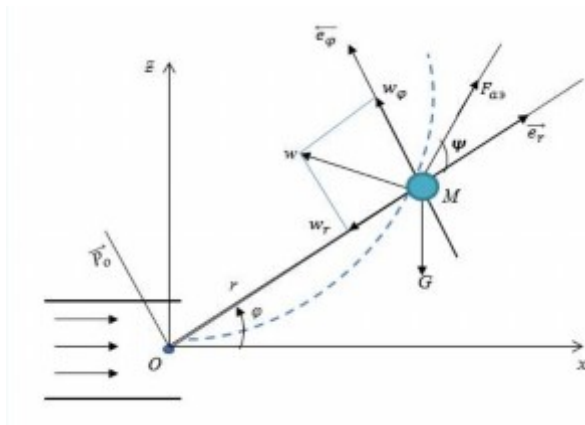


1-расм. Сепаратор ишчи камерасида пахта бўлакчалари ҳаракати тадқиқи

қолишига олиб келади. Натижада сепараторнинг иш унумдорлиги тушиб кетар эди.

Бу камчиликларни бартараф этиш, мақсадида муаллифлар томонидан тўрли сеткани ишчи камерани юқори қисмига горизонтал йўналишда жойлашган янги сепаратор конструкциясини таклиф этилган. Бу ҳолда сепаратор ишчи камерасига кириб келган пахта бўлакчалари ҳавони аэродинамик кучи таъсирида, вертикал йўналишда ҳаракатланади. Пахта бўлакчаларини оғирлик кучи таъсирида ва ҳавонинг тезлигини, ишчи камерани ҳажмини кенгайтиши, аэродинамик кучини камайиши ҳисобига бир массали пахта бўлакчалари тўғридан-тўғри вакуум-клапани орқали кейинги босқичга ўтса, ўрта ва енгил массали пахта бўлакчаларини юқорига кўтарилиб, сўнг тўрли юзага етиб бориб-бормасдан пастки, кейинги жараёнга, ўтиб кетади, шуни эвазига сепараторни иш унумдорлиги ошади.

Масалани математик модели. Пахта бўлакчаларини сепаратор ишчи камерасидаги ҳаракатини қуйидагича моделлаштирамиз.



2-расм. Пахта бўлакчаларини, кириш нуқтасидан бошлаб, кутб z, φ координаталар системасига нисбати

Сепаратор ишчи камерасига кириб келганда пахта бўлакчаларини, кириш нуқтасидан бошлаб, кутб z, φ координаталар системасига нисбатан текширамиз (2-расм). M -пахта бўлакчаси, уни моддий нуқта деб қараймиз; O – кутб боши; $\varphi = \varphi(t)$ – кутб бурчаги; $r = r(t)$ – M -пахта бўлакчасини кутб радиуси; ψ – аэродинамик куч билан кутб радиуси орасидаги бурчак.

Кутб координаталар системасида M -пахта бўлакчасини тўла тезланиши:

$$\vec{w} = (\ddot{r} - \dot{\varphi}^2 r) \vec{e}_r + (r\ddot{\varphi} - 2\dot{r}\dot{\varphi}) \vec{e}_\varphi \quad (1)$$

бу ерда $\vec{e}_r, \vec{e}_\varphi$ – кутб координаталарини йўналтирувчи бирлик векторлари;

(1) ифодага қуйидаги белгилашлар киритамиз: $w_r = \ddot{r} - \dot{\varphi}^2 r$ – кутб радиуси йўналишидаги тезланиш; $w_\varphi = r\ddot{\varphi} + 2\dot{r}\dot{\varphi}$ – кутб радиусига тик бўлган йўналишдаги тезланиш.

M – пахта бўлакчасига таъсир этувчи кучни аниқлаймиз:

а) $G = mg$ – оғирлик кучи; m – пахта бўлакчасини массаси;

б) $F_{\alpha 3} = kv^2$ – пахтани ҳаракатлантирувчи ҳавони аэродинамик қаршилик кучи.

Пахта бўлакчасини сепаратор ишчи камерасида, вертикал oxz текисликдаги ҳаракатини, кутб координаталар системасига нисбатан дифференциал тенгламаларини Даламбер принципига кўра тузамиз:

$$\begin{cases} mw_r = \sum_{i=1}^n F_{ri} \\ mw_\varphi = \sum_{i=1}^n F_{\varphi i} \end{cases} \quad (2)$$

бу ерда:

$$\begin{cases} w_r = \ddot{r} - \dot{\varphi}^2 r \\ w_\varphi = r\ddot{\varphi} + 2\dot{r}\dot{\varphi} \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} mw_r = \sum_{i=1}^n F_{ri} = -G \sin \varphi + F_{\alpha 3} \sin \psi \\ mw_\varphi = \sum_{i=1}^n F_{\varphi i} = -G \cos \varphi + F_{\alpha 3} \cos \psi \end{cases} \quad (4)$$

$$\psi = \operatorname{arctg}\left(\frac{r\dot{\varphi}}{\dot{r}}\right)$$

(3) ва (4) ни инобатга олсак (2) ифода куйидаги кўринишга келади:

$$\begin{cases} m(\ddot{r} - \dot{\varphi}^2 r) = -G \sin \varphi + F_{\alpha_3} \sin \psi \\ m(r\ddot{\varphi} + 2\dot{r}\dot{\varphi}) = -G \sin \dot{\varphi} + F_{\alpha_3} \sin \psi \end{cases} \quad (5)$$

(5) ифодадаги дифференциал тенгнамалар системаси учун бошланғич шартларни куйидагича оламит:

$$\begin{cases} t = 0; r(0) = 0, \varphi(0) = 0 \\ \dot{r}(0) = v_0, \dot{\varphi}(0) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Пахта бўлакчасини массаси куйидагича олинган:

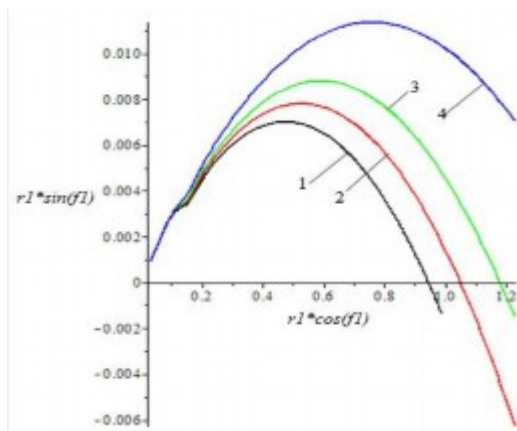
$$5 \text{ гр} \leq m_n \leq 10 \text{ гр.}$$

Ҳаво тезлиги эса $25 \text{ м/с} \leq v \leq 30 \text{ м/с}$

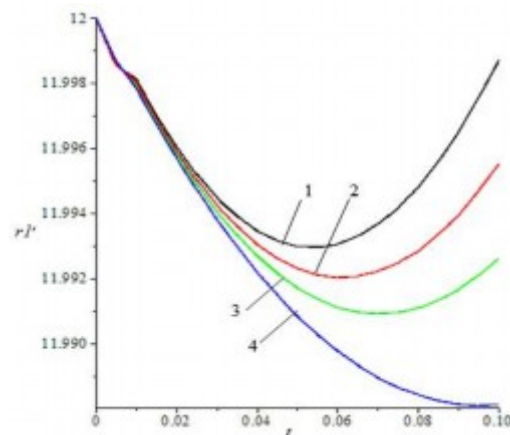
Сепаратор ишчи камерасини кўндаланг кесим юзасини битта пахта бўлакчаси юзасига нибати $n=25$ деб олинганда, ишчи камера юзасидан ўтувчи умумий пахта бўлакчаларини массаси: $0.1 \text{ кг} \leq M \leq 0.25 \text{ кг}$ бўлади.

(5) дифференциал тенгнамалар системасини (6) бошланғич шартларда, сонли усулда MAPLE-17 дастурида ечилди ва тегишли графиклар олинди.

Натижалар таҳлили. 3-расмдаги графикларда ҳар хил массали пахта бўлакчаларини оху текислигидаги ҳаракат траекторияси келтирилган



3-расм. Массалари турли бўлган пахта бўлакчаларини ҳаракат траекторияларини ўзгариши: 1 – $m=0.25$ кг; 2 – $m=0.20$ кг; 3 – $m=0.150$ кг; 4 – $m=0.100$ кг



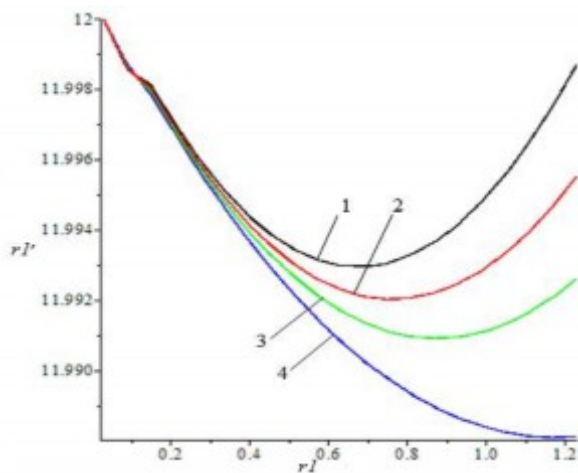
4-расм. Пахта бўлакчаларини радиал тезлигини вақтга боғлиқ ўзгариши: 1 – $m=0.25$ кг; 2 – $m=0.20$ кг; 3 – $m=0.150$ кг; 4 – $m=0.100$ кг

Графиклардан кўриниб турибдики, оғир массали пахта бўлакчалари енгил пахта бўлакчаларига қараганда, юқорига кўтарилмасдан, кейинги босқичга ўтиб кетар экан.

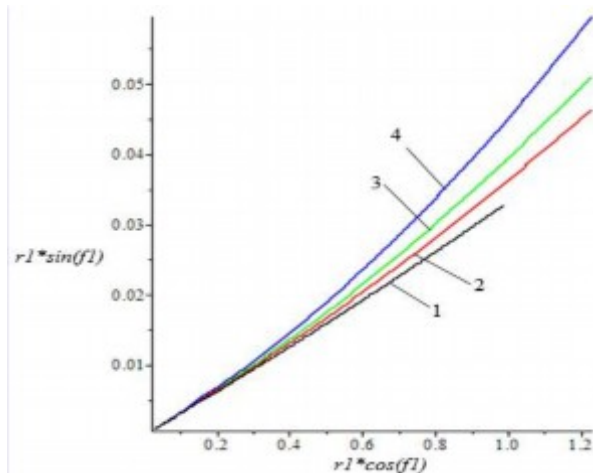
Асосан $m < 80$ грдан кам бўлган пахта бўлакчалари ишчи камерани юқори қисмидаги тўрли юзага бориб урилади. Уларни сидирғич ёрдамида тўрли юзадан ажратиб олинади.

4-расмда, пахта бўлакчаларини радиал тезлиги $v_r = v_r(t)$ ни вақт бўйича ўзгариши графиги, 5-расмда эса пахта бўлакчасини тезлигини радиус векторга боғлиқ ўзгариш қонуниятлари келтирилган. Бу ерда ҳам массаси оғир бир хил пахта бўлакчаларини тезликларни камайиши ва шу ҳисобига уларни кейинги жараёнга ўтишини тезлашишини кузатиш мумкин.

Пахта бўлакчасини горизонтал оху текислик бўйлаб, ҳаракатини ҳам текширишимиз мумкин. Бу ҳолда ҳаво оқими, сепаратор ишчи камерасини ён томонидаги тўрли юзалардан чикиб кетади.



5-расм. Пахта бўлакчаларини радиал тезлигини кутб радиуси бўйича ўзгариши: 1 – $m=0.25$ кг; 2 – $m=0.20$ кг; 3 – $m=0.150$ кг; 4 – $m=0.100$ кг



6-расм. Пахта бўлакчасини ҳаракат траекториясини ўзгариши: 1 – $m=0.25$ кг; 2 – $m=0.20$ кг; 3 – $m=0.150$ кг; 4 – $m=0.100$ кг

Пахта бўлакчасини горизонтал оху текислик бўйлаб, ҳаракатини ҳам текширишимиз мумкин (6-расм). Бу ҳолда ҳаво оқими, сепаратор ишчи камерасини ён томонидаги тўрли юзалардан чиқиб кетади.

Хулоса. Пахтани ҳаводан ажратиш олишга бағишланган назарий тадқиқотлар натижасида янги сепаратор қурилмасининг ишчи камераси тепа қисмига горизонтал ҳолатдаги бир жуфт тўрли юза ўрнатиш орқали пахтанинг тўрли сиртга ёпишиши камаяди ва ажратиш олиш осонлашганини кўрсатди. Натижада чигит ва тола шикастланишини камайишига эришилади.

АДАБИЁТЛАР

- [1] Salokhiddinova M.N., Muradov R.M., Mamatkulov A.T. Investigation of Separating Small Impurities and Heavy Compounds Using the Cotton Separator Equipment // American Journal of Science, Engineering and Technology. 2017. 2(2). P. 72 – 76.
- [2] Мурадов Р. Пахтани ҳаво ёрдамида ташувчи қурилма самарадорлигини ошириш асослари. Наманган. 2015 й.
- [3] Salokhiddinova M.N., Muradov R.M. Reducing the damage to cotton seeds in the cotton separator // "Digest of scientific and technical achievements in the realm of cotton industry of the republic of Uzbekistan" Dedicated to the 76th plenary meeting of the international cotton advisory committee and to the 90th anniversary of scientific-research center of cotton industry "Pakhtasanoat ilmiy markazi" JSC. Tashkent. Uzbekistan, 2017. October 23 – 27th. 2017. Tashkent. P. 246 – 251.

Наманган муҳандислик технология институти

28.11.2018 й.
қабул қилинган

М.Н. Салоҳиддинова, Р. Мурадов, А.И. Каримов. Исследование движения частиц хлопка в новой рабочей камере конструкции сепаратора

В статье предложен новый усовершенствованный вариант с целью уменьшения повреждаемости семян во время отделения хлопка от воздуха в сепараторе. При этом составлено дифференциальное уравнение движения хлопка-сырца в рабочей камере сепаратора и получены соответствующие графики.

M.N. Saloxiddinova, R. Muradov, A.I. Karimov. The research on the movement of piece of cotton in new working chamber of separator construction

A new improved option has been proposed to reduce the damage caused by separator equipment used for air separation of cotton raw material. Differential equations of movement of the cotton pieces in the new working chamber of separator are constructed and the necessary graphs are obtained.

М.Н. ЖУРАЕВ, А.А. ТОГАЕВ, Ю.А. ШЕРМУХАМЕДОВ

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРКА АВТОПОЕЗДОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ХЛОПКА-СЫРЦА ИЗ ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ ДО ХЛОПКООЧИСТИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Планирование использования имеющегося парка автопоездов заключается в распределении их по заготовительным пунктам (по линиям перевозок с различными расстояниями ездки с грузом), т.е. в определении количества автопоездов, предназначенных для работы на отдельных линиях. Основные требования, предъявляемые к особенностям перевозок хлопка-сырца, к постановке этой задачи, заключаются в следующем.

В реальных условиях объемы перевозок с отдельных заготпунктов (на отдельных линиях) не заданы, а устанавливаются, исходя из конкретных ограничений (количества имеющихся для эксплуатации автопоездов и погрузочных механизмов на заготпунктах и др.). Для успешной работы хлопкозавода требуется выполнение объемов перевозок в целом по комплектуемым разновидностям сырья. Поэтому количество автопоездов, распределяемых на отдельные линии перевозок (что и определяет объем перевозок на линии), следует установить с учетом возможности выполнения объемов перевозок в целом по комплектуемым разновидностям сырья. Распределение должно обеспечивать выполнение заданных объемов перевозок по комплектуемым разновидностям сырья с использованием имеющегося количества автопоездов.

Практическое внедрение решений задач во многом зависит от того, насколько учтены специфические особенности реальных условий перевозок хлопка-сырца при формировании условий задачи, т.е. от адекватности постановки задачи реальным условиям её возникновения. Многообразие реальных условий перевозок хлопка-сырца требует создания модели задачи использования автопоездов в различных постановках.

Рассмотрим модель задачи использования парка автопоездов для следующего условия: запланированные объемы перевозок требуется выполнить с использованием заданного парка автопоездов различных видов из одного автохозяйства.

Постановка задачи формируется следующим образом:

Необходимо распределить заданный парк автопоездов разных видов из одного автохозяйства по заготовительным пунктам так, чтобы выполнить необходимые объемы перевозок хлопка-сырца при минимальных эксплуатационных расходах.

По сути рассматриваемая задача является оптимизационной задачей, предполагающей нахождение целевой функции при заданных уравнениях ограничения. Для решения подобных задач используют методы линейного программирования [1 – 4].

Для формирования модели задачи в этой постановке считаем заданными:

-множество I – разновидностей автопоездов, L – разновидностей перевозимого сырья, J – пунктов погрузки (заготпунктов или линий перевозок) с выделенными подмножествами J_l – пунктов, поставляющих сырье l -й разновидности ($l \in L, J_l \in J$);

-запланированный объем перевозок на хлопкозавод сырья l -й разновидности $Q_{пл}^l$;

-суточную производительность в тоннах автопоезда l -й разновидности на j -й линии перевозок Q_{ij} ;

-эксплуатационные расходы на перевозку одной тонны сырья автопоездами i -й разновидности на j -й линии S_{ij} ;

-эксплуатируемое количество автопоездов i -й разновидности A_j^i .

Математическая модель задачи формируется следующим образом: необходимо найти неотрицательные количества работающих на j -й линии перевозок автопоездов i -й разновидности:

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i \in I, j \in J), \quad (1)$$

чтобы достичь минимума расходов на перевозку

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ij} \cdot Q_{ij} \cdot S_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

при условиях:

эксплуатируемое количество автопоездов разных видов не превышает заданное

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq A_j^i \quad (i \in I); \quad (3)$$

выполнение заданных объемов перевозок по комплектуемым разновидностям сырья

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J_l} x_{ij} \cdot Q_{ij} = Q_{\text{пл}}^l \quad (l \in L). \quad (4)$$

Отметим, что при жестком закреплении автохозяйств за клиентурой (за заготпунктам определенного хлопкозавода) вместо условия (3) в модели (1) – (4) следует предусмотреть другое – выполнить запланированные объемы перевозок при полном использовании имеющегося количества автопоездов, т.е.

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = A_j^i \quad (i \in I).$$

В таком случае особую важность приобретает свойство модели по регулированию количества автопоездов, распределяемых по отдельным линиям с учетом необходимости выполнения $Q_{\text{пл}}^l$ при полном использовании A_j^i . Покажем на характерном примере возможности этой модели по регулированию количества автопоездов, распределяемых по отдельным заготпунктам.

Пример. Необходимо перевезти на Гулистанский хлопкозавод за сутки сырье первой разновидности в объеме $Q_{\text{пл}}^1 = 200$ т и второй разновидности $Q_{\text{пл}}^2 = 400$ т: $l \in L = \{1, 2\}$. Для выполнения этих объемов перевозок имеются автопоезда первой разновидности (тягач MAN CLA 18.280 с полуприцепом) в количестве $A_j^1 = 20$ единиц и второй разновидности (тягач MAN CLA 18.280 с полуприцепом и прицепом) в количестве $A_j^2 = 10$ единиц: $i \in I = \{1, 2\}$. Перевозка хлопка-сырца осуществляется с 4-х заготпунктов ($i \in I = \{1, 2, 3, 4\}$ – множество номеров заготпунктов), причем сырье первой разновидности перевозится с заготпунктов № 1 (Бабур $l_{re}=26$ км) и № 3 (Андиджан, $l_{re}=50$ км), т.е. $J_1 = \{1, 3\}$, а второй разновидности – № 2 (Кизилтонг, $l_{re}=32$ км) и № 4 (Фергана $l_{re}=70$ км), т.е. $J_2 = \{2, 4\}$. Как видно, $J_1 \cup J_2 = \{1, 2, 3, 4\}$. Значения S_{ij} , Q_{ij} , взятые из существующей практики планирования, приведены в таблице.

Значения показателей S_{ij} (тыс.сум/т) и Q_{ij} (т)

Показатель	j			
	1	2	3	4
Q_{1j}	22	22	11	11
S_{1j}	1.21	1.75	2.95	3.93
Q_{2j}	33	33	11	11
S_{2j}	1.17	1.60	2.56	3.37

Математическая модель задачи для вышеприведенного примера имеет следующий вид:

$$22 \cdot 1.21 \cdot x_{11} + 33 \cdot 1.17 \cdot x_{21} + 22 \cdot 1.75 \cdot x_{12} + 33 \cdot 1.60 \cdot x_{22} + 11 \cdot 2.95 \cdot x_{13} + \\ + 11 \cdot 2.56 \cdot x_{23} + 11 \cdot 3.93 \cdot x_{14} + 11 \cdot 3.37 \cdot x_{24} \rightarrow \min$$

при условиях:

полного использования имеющегося количества автопоездов отдельных видов

$$\left. \begin{aligned} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} &= 20, \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} &= 10 \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} 22 \cdot x_{11} + 33 \cdot x_{21} + 11 \cdot x_{13} + 11 \cdot x_{23} &= 200, \\ 22 \cdot x_{12} + 33 \cdot x_{22} + 11 \cdot x_{14} + 11 \cdot x_{24} &= 400 \end{aligned} \right\},$$

необходимости выполнения заданных объемов перевозок по комплектуемым разновидностям сырья

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1, 2; j = 1, 2, 3, 4)$$

(неотрицательности переменных).

Для решения оптимизационной задачи был использован алгоритм большой размерности (Large Scale) линейного программирования в среде Matlab.

Получены следующие результаты переменных x_{ij} :

$$x_{11} = 12, x_{21} = 0, x_{12} = 8, x_{22} = 7, x_{13} = 0, x_{23} = 3, x_{14} = 0, x_{24} = 0.$$

Таким образом, для рассматриваемой задачи, чтобы выполнить необходимые объемы перевозок хлопка-сырца при минимальных эксплуатационных расходах, необходимо распределить заданный парк автопоездов разных видов по следующим заготовительным пунктам: сырье первой разновидности перевозится 20 автопоездами первой разновидности с заготпунктов 1 (12 автопоездов) и 2 (8 автопоездов), сырье второй разновидности перевозится 10 автопоездами второй разновидности с заготпунктов 2 (7 автопоездов) и 3 (3 автопоезда).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Васильев Ф. П. Методы оптимизации. В 2-х кн. М.: МЦИМО, 2011. Кн.2. – 433 с.
- [2] Решение транспортных задач с применением программирования в системе MathCAD // Молодой ученый. 2014. № 5. С. 8 – 13.
- [3] Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов / Трофименко Ю. В., Якимов М. Р. М.: Логос, 2013. – 464 с.
- [4] Бутаев Ш. А., Мирзаахмедов Б. М., Жўраев М. Н., Дўрмонов А. Ш., Баходиров Б. Ташиш жараёнларини моделлаштириш ва оптималлаштириш. Тошкент: Фан, 2009. – 268 б.

Ташкентский институт по проектированию,
строительству и эксплуатации автомобильных дорог

Дата поступления
19.10.2018

М.Н. Жураев, А.А. Тогаев, Ю.А. Шермухамедов. Пахта хом аиёсини пахта тайёрлаш пунктларидан пахта тозалаш заводларига ташишида автопоездлар паркидан самарали фойдаланиш масаласини чизиқли дастурлаш усули ёрдамида ечиш

Мақолада пахта хом аиёсини пахта тайёрлаш пунктларидан пахта тозалаш заводларига ташишида автопоездлар паркидан самарали фойдаланиш масаласига чизиқли дастурлаш усули қўллаш кўриб чиқилган. Айрим пахта тайёрлаш пунктларига тақсимланадиган автопоездларнинг сонини аниқлаш бўйича таклиф этилган математик моделнинг имкониятлари аниқ мисолда кўрсатиб берилган. Хусусан, минимал эксплуатацион сарф-харажатлар билан талаб этилган пахта хом аиёси ҳажминини ташишини оптималлаштириш масаласи учун 4 та пахта тайёрлаш пунктлари бўйича зарур бўладиган турли турдаги автопоездларни сони аниқланган.

M.N. Zhuraev, A.A. Togaev, U.A. Shermukhamedov. Decision of a problem of an effective using of park of lorry convoys by transportation of cotton from procurement stations to cotton-cleaning factories by method of linear programming

In article application of a method of linear programming for the decision of a problem of an effective using of park of lorry convoys by transportation of cotton from procurement stations to cotton-cleaning factories is considered. On a characteristic example possibilities of the offered mathematical model on regulation of quantity of the lorry convoys distributed on separate procurement stations are shown. In particular, for an optimising problem of transportation of necessary volumes of a cotton at the minimum operating costs, necessary trips of lorry convoys of different kinds on four procurement stations are defined.

АНАЛИЗ УГЛОВ КОНТАКТА ДВУХВАЛКОВОГО МОДУЛЯ

Валковые машины имеют широкое применение во многих отраслях промышленности. Двухвалковые модули относятся к основным рабочим органам валковой машины или выполняют вспомогательные функции. В связи с этим во многих машинах двухвалковые модули являются асимметричными, т.е. в них происходит несимметричный процесс взаимодействия слоя материала с парами валков.

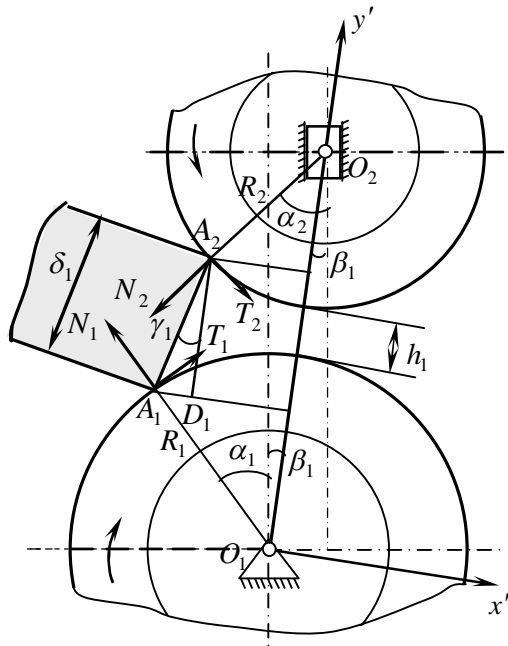


Рис. 1. Схема двухвалкового модуля

В настоящее время известно достаточно много работ [1], посвященных теоретическому анализу углов контакта симметричного процесса прокатки. Имеются работы [2, 3], в которых исследуется только один вид несимметричности процесса, однако, комплексный подход, одновременно учитывающий всевозможные виды несимметричности, отсутствует.

С целью дальнейшего развития теоретических представлений рассмотрим существенно несимметричный двухвалковый модуль, представленный на рис. 1. Здесь валки расположены относительно вертикали под углом β_1 , нижний вал неподвижный, верхний — подвижный. Оба вала приводные, диаметры валков неодинаковы ($R_1 \neq R_2$), валки имеют эластичные покрытия с жесткостями c_1 и c_2 . Следовательно, коэффициенты трения слоя материала с валками не равны ($f_1 \neq f_2$). Слой материала равномерный, имеет начальную толщину δ_1 и подан наклоном вниз под углом γ_1 к оси O_1y' (линии центров), расстояние между валками h_1 .

Геометрические условия в двухвалковом модуле изучаем в трех позициях переднего конца слоя материала: первая — момент касания с валками; вторая — момент касания с линией центров; третья — момент выхода из зоны контакта. Анализ первой позиции позволяет найти углы контакта в начале касания слоя с валками, второй — углы контакта начала установившегося процесса взаимодействия, третьей — углы контакта конца установившегося процесса взаимодействия.

Проанализируем углы контакта в первой позиции. Пусть подведенный к валкам слой материала касается их в сечении A_1A_2 (см. рис. 1). Из рис. 1 следует, что

$$R_1 + h_1 + R_2 - O_1B_1 - B_1B_2 - B_2O_2 = 0, \quad (1)$$

$$A_1B_1 = A_1D_1 + A_2B_2. \quad (2)$$

Из прямоугольных треугольников $\Delta A_1B_1O_1$, $\Delta A_2B_2O_2$ и $\Delta A_1D_1A_2$ находим:

$$O_1B_1 = R_1 \cos(\alpha_1 + \beta_1), \quad A_1B_1 = R_1 \sin(\alpha_1 + \beta_1); \quad O_2B_2 = R_2 \cos(\alpha_2 - \beta_1),$$

$$A_2B_2 = R_2 \sin(\alpha_2 - \beta_1); \quad B_1B_2 = A_2D_1 = \delta_1 \cos \gamma_1, \quad A_1D_1 = \delta_1 \sin \gamma_1.$$

С учетом этих выражений равенства (1) и (2) примут следующий вид:

$$R_1 - R_1 \cos(\alpha_1 + \beta_1) + R_2 - R_2 \cos(\alpha_2 - \beta_1) + \delta_1(1 - \cos \gamma_1) + h_1 - \delta_1 = 0, \quad (3)$$

$$R_2 \sin(\alpha_2 - \beta_1) = R_1 \sin(\alpha_1 + \beta_1) - \delta_1 \sin \gamma_1. \quad (4)$$

Приняв, что углы $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1$ и γ_1 малы, можно написать уравнения (3) и (4) в упрощенном виде:

$$R_1(\alpha_1 + \beta_1)^2 + R_2(\alpha_2 - \beta_1)^2 + \delta_1\gamma_1^2 + 2(h_1 - \delta_1) = 0, \quad (5)$$

$$\alpha_2 - \beta_1 = \frac{R_1}{R_2}(\alpha_1 + \beta_1) - \frac{\delta_1}{R_2}\gamma_1. \quad (6)$$

После подстановки $(\alpha_2 - \beta_1)$ из равенства (6) и простых преобразований уравнение (5) принимает вид

$$R_1(R_1 + R_2)(\alpha_1 + \beta_1)^2 - 2R_1\delta_1\gamma_1(\alpha_1 + \beta_1) + \delta_1^2\gamma_1^2 + R_2\delta_1\gamma_1^2 + 2R_2(h_1 - \delta_1) = 0.$$

Решая это квадратное уравнение, находим

$$\alpha_1 + \beta_1 = \frac{\delta_1\gamma_1}{R_1 + R_2} + \sqrt{\frac{2R_2(\delta_1 - h_1)}{R_1(R_1 + R_2)} - \frac{R_2\delta_1(\delta_1 + R_1 + R_2)\gamma_1^2}{R_1(R_1 + R_2)^2}}. \quad (7)$$

Расчеты по формуле (7) свидетельствуют о том, что величина второго члена под радикалом мала по сравнению с первым членом. На этом основании вторым членом можно пренебречь, придав формуле для определения угла α более простой вид:

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{2R_2(\delta_1 - h_1)}{R_1(R_1 + R_2)}} - \frac{(R_1 + R_2)\beta_1 - \delta_1\gamma_1}{R_1 + R_2}. \quad (8)$$

С учетом выражения (8) из равенства (6) находим формулу для определения угла α_2 :

$$\alpha_2 = \sqrt{\frac{2R_1(\delta_1 - h_1)}{R_2(R_1 + R_2)}} + \frac{(R_1 + R_2)\beta_1 - \delta_1\gamma_1}{R_1 + R_2}. \quad (9)$$

Сложив выражения (8) и (9), после преобразований находим сумму углов контакта α_1 и α_2 :

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \sqrt{\frac{2(R_1 + R_2)(\delta_1 - h_1)}{R_1R_2}}. \quad (10)$$

Далее исследуем, как изменяются углы контакта с учетом сил, действующих на слой материала. С этой целью рассмотрим схемы сил, действующих на слой материала в сечении A_1A_2 (см. рис. 1).

Для этого составим уравнения равновесия сил слоя материала в момент касания с валками:

$$\begin{cases} \sum X' = -N_{1x'} - N_{2x'} + T_{1x'} + T_{2x'} = 0, \\ \sum Y' = N_{1y'} - N_{2y'} + T_{1y'} - T_{2y'} = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Из схемы сил на рис. 1 находим

$$\begin{aligned} N_{1x'} &= N_1 \sin(\alpha_1 + \beta_1), & T_{1x'} &= T_1 \cos(\alpha_1 + \beta_1), & N_{1yx} &= N_1 \cos(\alpha_1 + \beta_1), & T_{1y} &= T_1 \sin(\alpha_1 + \beta_1), \\ N_{2x'} &= N_2 \sin(\alpha_2 - \beta_1), & T_{2x'} &= T_2 \cos(\alpha_2 - \beta_1), & N_{2y'} &= N_2 \cos(\alpha_2 - \beta_1), & T_{2y'} &= T_2 \sin(\alpha_2 - \beta_1). \end{aligned} \quad (12)$$

С учетом этих выражений систему (11) перепишем в виде

$$\begin{cases} N_1 \sin(\alpha_1 + \beta_1) - T_1 \cos(\alpha_1 + \beta_1) = -(N_2 \sin(\alpha_2 - \beta_1) - T_2 \cos(\alpha_2 - \beta_1)), \\ N_1 \cos(\alpha_1 + \beta_1) + T_1 \sin(\alpha_1 + \beta_1) = N_2 \cos(\alpha_2 - \beta_1) + T_2 \sin(\alpha_2 - \beta_1). \end{cases} \quad (13)$$

Разделим первое уравнение этой системы на второе и преобразуем систему (13), выразив силы трения T_1 и T_2 через нормальные силы N_1 и N_2 , согласно закону трения Амонтона:

$$\frac{\sin(\alpha_1 + \beta_1) - f_1 \cos(\alpha_1 + \beta_1)}{\cos(\alpha_1 + \beta_1) + f_1 \sin(\alpha_1 + \beta_1)} = - \frac{\sin(\alpha_2 - \beta_1) - f_2 \cos(\alpha_2 - \beta_1)}{\cos(\alpha_2 - \beta_1) + f_2 \sin(\alpha_2 - \beta_1)}.$$

После ряда преобразований находим:

$$\operatorname{tg}(\alpha_1 + \alpha_2) = \frac{f_1 + f_2}{1 - f_1 f_2}.$$

Тогда, имея в виду, что $f_1 = \operatorname{tg} \nu_1$ и $f_2 = \operatorname{tg} \nu_2$ (где ν_1 и ν_2 – углы трения в точках A_1 и A_2 , соответственно), окончательно имеем

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \nu_1 + \nu_2. \quad (14)$$

Таким образом, в момент касания слоя материала с валками сумма углов контакта равняется сумме углов трения, независимо от наклона верхнего валка и слоя материала.

С учетом равенства (14) выражение (10) имеет вид

$$\nu_1 + \nu_2 = \sqrt{\frac{2(R_1 + R_2)(\delta_1 - h_1)}{R_1 R_2}}. \quad (15)$$

С учетом выражения (15) зависимости (8) и (9) примут вид

$$\alpha_1 = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_2(\nu_1 + \nu_2) - (R_1 + R_2)\beta_1 + \delta_1 \gamma_1), \quad \alpha_2 = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_1(\nu_1 + \nu_2) + (R_1 + R_2)\beta_1 - \delta_1 \gamma_1). \quad (16)$$

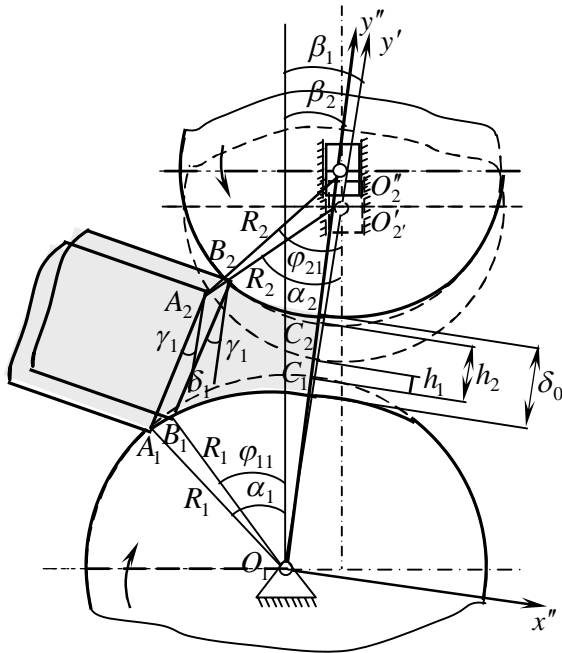


Рис. 2. Схема двухвалкового модуля во второй позиции переднего конца слоя материала

Проанализируем теперь геометрические факторы во второй позиции переднего конца слоя материала. Пусть передний конец, подведенный к валкам слоя материала, касаясь их в сечении A_1A_2 , проходит путь до сечения C_1C_2 , лежащего на линии центров (рис. 2). В течение этого периода проход слоя материала между валками сопровождается подъемом верхнего валка на расстояние $\Delta = h_2 - h_1$ и сечение A_1A_2 переходит на сечение B_1B_2 . При этом слой материала и эластичные покрытия валков будут деформироваться. Деформация происходит до тех пор, пока вертикальная составляющая упругой силы материала не будет приравнена с давлением верхнего валка. Пусть в момент равенства указанных выше сил двухвалковый модуль имеет следующие параметры: углы контакта начала установившегося процесса φ_{11} и φ_{21} , угол наклона верхнего валка относительно вертикали β_2 , расстояние между валками h_2 .

Считаем, что

$$h_2 = k \cdot h_1, \quad k > 1, \quad (17)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

По аналогии с формулами (8), (9), (10) с учетом равенства (17) определяем φ_{11} , φ_{21} и их сумму:

$$\varphi_{11} = \sqrt{\frac{2R_2(\delta_1 - k \cdot h_1)}{R_1(R_1 + R_2)}} - \frac{(R_1 + R_2)\beta_1 - \delta_1 \gamma_1}{R_1 + R_2}, \quad \varphi_{21} = \sqrt{\frac{2R_1(\delta_1 - k \cdot h_1)}{R_2(R_1 + R_2)}} + \frac{(R_1 + R_2)\beta_1 - \delta_1 \gamma_1}{R_1 + R_2}, \quad (18)$$

$$\varphi_{11} + \varphi_{21} = \sqrt{\frac{2(R_1 + R_2)(\delta_1 - kh_1)}{R_1 R_2}}. \quad (19)$$

Согласно рис. 2, для рассматриваемого двухвалкового модуля имеем

$$\varphi_{11} + \varphi_{21} = \nu_{11} + \nu_{21}, \quad (20)$$

где ν_{11}, ν_{21} – углы трения в точках B_1 и B_2 соответственно.

С учетом равенства (20) выражения (18) и (19) примут следующий вид:

$$\nu_{11} + \nu_{21} = \sqrt{\frac{2(R_1 + R_2)(\delta_1 - kh_1)}{R_1 R_2}}, \quad (21)$$

$$\varphi_{11} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_2(\nu_{11} + \nu_{21}) - (R_1 + R_2)\beta_1 + \delta_1\gamma_1), \quad \varphi_{21} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_1(\nu_{11} + \nu_{21}) + (R_1 + R_2)\beta_1 - \delta_1\gamma_1). \quad (22)$$

Теперь переходим к анализу геометрических факторов в третьей позиции переднего конца слоя материала. При прохождении от второй до третьей позиции передний конец слоя материала проходит путь от сечения C_1C_2 до сечения D_1D_2 , где выходит из зоны контакта валков. В этот период и валки, и слой материала будут восстанавливать деформацию.

Пусть сечение D_1D_2 определяется параметрами: $\varphi_{12}, \varphi_{22}$ – углы контакта конца установившегося процесса; δ_2 – конечная толщина слоя материала; γ_2 – угол наклона слоя материала относительно линии центров; β_2 – угол наклона верхнего валка относительно вертикали (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что должны выполняться следующие равенства:

$$R_1 - R_1 \cos(\varphi_{12} - \beta_2) + R_2 - R_2 \cos(\varphi_{22} + \beta_2) + \delta_2(1 - \cos \gamma_2) + h_2 - \delta_2 = 0,$$

$$R_2 \sin(\varphi_{22} + \beta_2) = R_1 \sin(\varphi_{12} - \beta_2) - \delta_2 \sin \gamma_2.$$

Сделав в этих выражениях аналогичные с (3) – (6) преобразования и упрощения, получим квадратное уравнение, решая которое, имеем формулы для определения углов $\varphi_{12}, \varphi_{22}$ и их сумму:

$$\varphi_{12} = \sqrt{\frac{2R_2(\delta_2 - kh_1)}{R_1(R_1 + R_2)} + \frac{(R_1 + R_2)\beta_2 + \delta_2\gamma_2}{R_1 + R_2}}, \quad \varphi_{22} = \sqrt{\frac{2R_1(\delta_2 - kh_1)}{R_2(R_1 + R_2)} - \frac{(R_1 + R_2)\beta_2 + \delta_2\gamma_2}{R_1 + R_2}}, \quad (23)$$

$$\varphi_{12} + \varphi_{22} = \sqrt{\frac{2(R_1 + R_2)(\delta_2 - h_2)}{R_1 R_2}}. \quad (24)$$

Считаем, что

$$\delta_2\gamma_2 = m_1\delta_1\gamma_1, \quad \delta_2 = m_2\delta_1, \quad (25)$$

где m_1, m_2 – коэффициенты пропорциональности.

Из рис. 3 следует, что для рассматриваемого двухвалкового модуля имеет место равенство

$$\varphi_{12} + \varphi_{22} = \nu_{12} + \nu_{22}, \quad (26)$$

где ν_{12}, ν_{22} – углы трения в точках D_1 и D_2 .

С учетом этой формулы из равенства (24) находим

$$\nu_{12} + \nu_{22} = \sqrt{\frac{2(R_1 + R_2)(m_2\delta_1 - h_2)}{R_1 R_2}}. \quad (27)$$

С учетом выражения (27) и равенств $\delta_2\gamma_2 = m_1\delta_1\gamma_1, \beta_2 = \beta_1$ выражения (23) примут следующий вид:

$$\varphi_{12} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_2(\nu_{12} + \nu_{22}) + (R_1 + R_2)\beta_1 + m_1\delta_1\gamma_1),$$

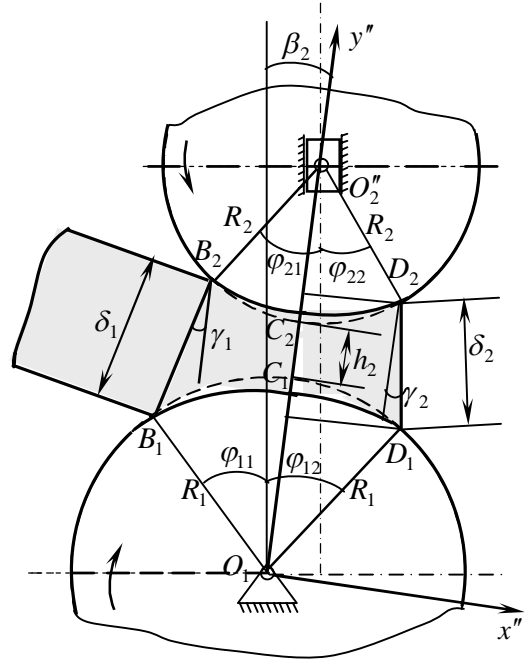


Рис.3. Схема двухвалкового модуля в третьей позиции переднего конца слоя материала

$$\varphi_{22} = \frac{1}{R_1 + R_2} (R_1(v_{12} + v_{22}) - (R_1 + R_2)\beta_1 - m_1\delta_1\gamma_1). \quad (28)$$

Проведенный анализ геометрических условий взаимодействия двухвалкового модуля позволяет определять углы контакта двухвалкового модуля с двумя приводными валками. Они находятся в следующем порядке:

- по формуле (15) – $v_1 + v_2$;
- по формулам (16) и (17) – α_1, α_2, h_2 ;
- по формуле (21) – $v_{11} + v_{21}$;
- по формулам (22) и (25) – $\varphi_{11}, \varphi_{21}, \delta_2$ и $\delta_2\gamma_2$;
- по формуле (27) – $v_{12} + v_{22}$;
- по формулам (28) – φ_{12} и φ_{22} .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Грудев А. П. Теория прокатки. М.: Металлургия, 1988. – 240 с.
- [2] Черняховский М. Б. Моделирование и совершенствование процесса асимметричной холодной прокатки стальной ленты: Дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2002. – 132 с.
- [3] Бородянский В. П. Прокатка материала валками разных размеров при одинаковой скорости контактирующих поверхностей // Известия высших учебных заведений, пищевая технология, 2007. С. 91 – 94.

Институт механики и сейсмостойкости сооружений
им. М.Т. Уразбаева АН РУз

Дата поступления
16.11.2018

Ш.Р. Хуррамов, Ф.О. Баҳадиров, А. Абдукаримов. Икки валли модулнинг контакт бурчаклари таҳлили
Мақолада ҳар иккала валли узатмага эга икки валли модулнинг контакт бурчаклари таҳлили натижалари
келтирилган.

Sh.R. Hurrarov, G.A. Bakhadirov, A. Abdulkarimov. Analysis of contact angles of a two-shaft module
The article presents the results of the analysis of the contact angles a two-shaft module, in with both rolls are single.

УЎК 677.01

О.И. РАЖАБОВ

ПАХТА ХОМАШЁСИНИ МАЙДА ИФЛОСЛИКЛАРДАН ТОЗАЛАШ МАШИНАСИДАГИ ЯНГИ КЎП ҚИРРАЛИ ТЎРЛИ СИРТНИНГ ПАРАМЕТРЛАРИНИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАШТИРИШ

Пахтани табиий сифатини юқори даражада сақлаш учун пахтани дастлабки ишлаш машина ва жиҳозларининг конструкцияларини такомиллаштириш ва пахтага самарали таъсир қилувчи ишчи қисмларни яратишга асосланиши керак. Пахта хомашёсидан ифлосликларни тола ва чигитнинг табиий сифатини максимал даражада сақлаган ҳолда ажрата олиш хусусияти пахта тозалаш машиналарининг асосий кўрсаткичи ҳисобланади. Пахта хомашёси таркибидаги ифлосликларни ажрата олиш самарадорлиги пахтани селекцион навига, саноат навига, намлигига ва толасининг узунлигига, ифлосликларни илашиш характериға катта даражада боғлиқдир. Республикамиздаги мавжуд пахта тозалаш корхоналарида пахта хомашёсини тозалашда асосан УХК пахтани йирик ва майда ифлосликлардан тозаловчи агрегатдан фойдаланиб келинмоқда. Биз тажрибавий тадқиқотларимизда УХК агрегатининг майда ифлосликлар тозалаш секциясидаги тўрли юза конструкциясини такомиллаштириш устида ишлар олиб бордик. Маълумки, УХК пахтани тозалаш агрегатининг тозалаш самарадорлиги 75 – 80 % (I ва II навлар учун) ташкил этади [1].

Бугунги кунда тозалаш машинасидаги мавжуд тўрли сирт тозалагич корпусига қаттиқ маҳкамланган, айлана ёйи бўйича букилган бўлиб, ҳар хил шаклдаги катакчаларга эга. Бундай конструкциянинг асосий камчилиги тўрли сиртнинг кўзғалмаслиги, тўрли сирт юзаси билан

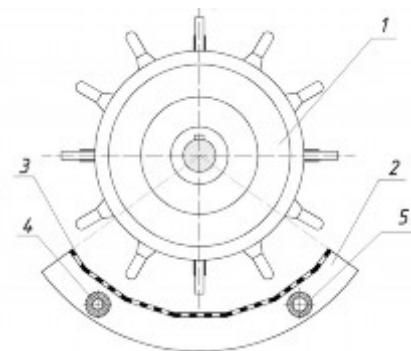
пахтанинг ўзаро таъсирини пастлиги бўлиб, натижада пахта хомашёсининг тозаланишига салбий таъсир кўрсатмоқда. Бу камчиликни бартараф этиш мақсадида қуйидаги конструкцияни тавсия этмоқдамиз.

Кўп қиррали тўрли юза конструкциясини ишлаб чиқиш. Тавсия этилаётган конструкция қуйидаги тартибда ишлайди. Пахта хомашёси қозикли барабанлар 1 ёрдамида кўп қиррали тўрли сирт юзадан 3 олиб ўтилади. Пахта хомашёсининг ҳаракати натижасида кўп қиррали тўрли сирт асосга 2 ўрнатилган қайишқоқ таянчлар ҳисобига тўрли сиртнинг тебраниши юзага келади. Бунда тўрли сирт асосининг 2 чап томонида биринчи бўлиб жойлашган қайишқоқ втулка 4, ўнг томонига жойлашган втулкага 5 нисбатан қалинроқ қилиб тайёрланган. Бу эса ўз навбатида, тозалагичнинг қозикли барабани билан пахта хомашёси ўтказилишининг бошида тўрнинг энг юқори амплитуда тебранишини таъминлаб беради [2]. Тавсия этилаётган конструкция қуйидаги 1-расмда келтирилган.

Ўз навбатида мавжуд конструкциянинг яна бир камчилиги тўрли сирт билан пахта орасидаги таъсир талаб даражасида эмаслиги ва тўрли сирт юзасидан пахтанинг ўтишида ўзгармайдиган ҳаракат ва шу билан биргаликда пахтанинг тўр юзаси билан керакли даражада импульснинг пастлиги ва тўрнинг ички ёй юзаси бўйича пахтанинг ўтиш жараёнида керакли даражада тўхташининг пастлиги машинанинг тозалаш самарадорлигига тўсик бўлмоқда.

Қўйилган масалани ечилиши тўрли юзани ҳосил қиладиган яссилик бўйича эгри чизик йўналишида бериш орқали тўрли юза сиртининг такомиллаштириш йўли билан амалга оширилади. Бу эса ўз навбатида пахтадан майда ифлосликларни ажралиб кетишига унумли фойда беради.

Тўлиқ омилли тажрибаларни математик модели. УХК пахта тозалаш агрегатининг майда ифлосликлардан тозалаш секциясига ўрнатилган янги қайишқоқ таянчли кўп қиррали тўрли сиртларни қўллаш натижасида, ўтказилган тажрибавий тадқиқотлар сонини камайтириш мақсадида, тажрибаларни математик моделлаштириш усулидан фойдаланилди [3,4]. Бунда Навоий вилояти Қизилтепа тумани “Қизилтепа пахта тозалаш” АЖ да тажрибавий тадқиқотлар ўтказилди. Тажрибалар “Бухоро 6” селекцион нави (II нав 1 – синф) даги пахта хомашёсида олиб борилди.



1-расм. Қайишқоқ таянчли кўп қиррали тўрли юза конструкция схемаси

1-жадвал

Тажрибани режалаштириш шарти

Омилнинг номи	Кодлаштирилган белгиси	Омилнинг ҳақиқий қиймати			Ўзгариш оралиғи
		-1	0	+1	
Машинанинг иш унуми ($m/coam$)	X_1	5	6	7	1
Тўрли сирт таянчидаги қайишқоқ элемент бикрлиги ($10^3Н/м$)	X_2	1.5	2	2.5	0.5
Қозикли барабан ва тўрли сирт орасидаги масофа (мм)	X_3	14	16	18	2
Кўп қиррали тўрли сирт томонларининг узунлиги (мм)	X_4	60	70	80	10

Чиқувчи фактор сифатида машинанинг тозалаш самарадорлигини оламыз. Кирувчи факторларнинг тозалаш самарадорлигига таъсирини тажрибалар асосида ўрганамиз. Бунинг учун режалаштириш матрицаси асосида ҳар бир шароитда 3 маротаба такроран тажрибалар ўтказилди (1-жадвал). Бу ҳолда тажрибалар сони $N=2^4=16$ такрорланишлар сони $m=3$ ни ҳисобга олсак, умумий тажрибалар сони $N \cdot m=16 \cdot 3=48$ тенг бўлди.

Чиқувчи параметрларнинг тажрибавий натижалари ва дисперсияларининг қиймати қуйидаги 2-жадвалда келтирилган.

Тажриба натижаларини қайта ишлаймиз. Бунинг учун ҳар бир сатр, ўрта қиймат ва дисперсиялари ҳисобланади:

$$\bar{Y}_n = \frac{\bar{Y}_{n1} + \bar{Y}_{n2} + \bar{Y}_{n3}}{3}, \quad (1)$$

$$S_n^2 = \frac{(\bar{Y}_{u1} - \bar{Y}_u)^2 + (\bar{Y}_{u2} - \bar{Y}_u)^2 + (\bar{Y}_{u3} - \bar{Y}_u)^2}{m-1}, \quad (2)$$

(1) ва (2) ифодалар асосида қийматлар аниқлаиб, 2-жадвалга киритамиз.

2-жадвал

№	Кирувчи факторлар				Чикувчи факторлар			Y_u	S_u^2
	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_{u1}	Y_{u2}	Y_{u3}		
1	-	-	-	-	86.6	85.8	87.2	86.53	0.493333
2	+	-	-	-	83.8	84	83.1	83.63	0.223333
3	-	+	-	-	84.5	83.6	82.9	83.67	0.643333
4	+	+	-	-	81.8	80.7	82.1	81.53	0.543333
5	-	-	+	-	85	85.4	86.1	85.50	0.310000
6	+	-	+	-	82.8	81.6	82	82.13	0.373333
7	-	+	+	-	81.4	81.8	80.8	81.33	0.253333
8	+	+	+	-	79.8	79.2	80	79.67	0.173333
9	-	-	-	+	80.2	81.1	80.7	80.67	0.203333
10	+	-	-	+	78.8	79	80.2	79.33	0.573333
11	-	+	-	+	80.1	79.2	78.4	79.23	0.723333
12	+	+	-	+	78	78.9	79.7	78.87	0.723333
13	-	-	+	+	79.6	79.1	78.8	79.17	0.163333
14	+	-	+	+	77.4	78.2	78.4	78.00	0.280000
15	-	+	+	+	76.8	77.5	77.9	77.40	0.310000
16	+	+	+	+	76.2	77.1	76.8	76.70	0.210000

Ҳисоблашлардан келиб чиқиб регрессия тенгламаси куйидагича кўринишда бўлди:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{23}X_2X_3 + b_{24}X_2X_4 + b_{34}X_3X_4 + b_{123}X_1X_2X_3 + b_{124}X_1X_2X_4 + b_{134}X_1X_3X_4 + b_{234}X_2X_3X_4 + b_{1234}X_1X_2X_3X_4. \quad (3)$$

Бу ерда \bar{Y}_1 – Чикувчи фактор (машинанинг тозалаш эффекти); b_0 – озод ҳад; b_1, b_2, b_3, b_4 – чизиксиз ҳадлар коэффициентлар; b_{12}, b_{13}, b_{14} – чизикли ҳадлар коэффициентлар; X_1, X_2, X_3, X_4 – кодланган факторлар қийматлари.

Моделнинг озод ҳадини аниқлаймиз:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \bar{Y}_u = \frac{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3 + \dots + \bar{Y}_N}{N} = \frac{86.53 + 83.63 + 83.67 + \dots + 76.7}{16} = 80.84, \quad (4)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} \bar{Y}_u = \frac{X_{i1}\bar{Y}_1 + X_{i2}\bar{Y}_2 + X_{i3}\bar{Y}_3 + \dots + X_{iN}\bar{Y}_N}{N}, \quad (5)$$

(5) ифода асосида барча чизиксиз ҳадларни аниқлаймиз:

$$b_1 = -0.852, b_2 = -1.035, b_3 = -0.84, b_4 = -2.164$$

Чизикли ҳадлар коэффициентларини аниқлаймиз:

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} \bar{Y}_u = \frac{X_{i1}X_{j1}\bar{Y}_1 + X_{i2}X_{j2}\bar{Y}_2 + X_{i3}X_{j3}\bar{Y}_3 + \dots + X_{iN}X_{jN}\bar{Y}_N}{N}, \quad (6)$$

(6) ифода асосида барча чизикли ҳадларни аниқлаймиз:

$$b_{12} = 0.2437, b_{13} = -0.0104, b_{14} = 0.406, b_{23} = -0.177, b_{24} = -0.4146, b_{34} = -0.006.$$

$$b_{ijl} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} X_{lu} \bar{Y}_u = \frac{X_{i1}X_{j1}X_{l1}\bar{Y}_1 + X_{i2}X_{j2}X_{l2}\bar{Y}_2 + X_{i3}X_{j3}X_{l3}\bar{Y}_3 + \dots + X_{iN}X_{jN}X_{lN}\bar{Y}_N}{N}, \quad (7)$$

(7) ифода асосида барча чизикли хадларни аниқлаймиз:

$$b_{123} = 0.0271, b_{13} = -0.0646, b_{14} = -0.0104, b_{234} = 0.032.$$

$$b_{ijkl} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} X_{lu} X_{ku} \bar{Y}_u = \frac{X_{i1} X_{j1} X_{l1} X_{k1} \bar{Y}_1 + X_{i2} X_{j2} X_{l2} X_{k2} \bar{Y}_2 + \dots + X_{iN} X_{jN} X_{lN} X_{kN} \bar{Y}_N}{N}, \quad (8)$$

(8) ифода асосида чизикли хадни аниқлаймиз: $b_{1234} = -0.0896$.

$$\begin{aligned} \bar{Y}_R = & 80.84 - 0.852X_1 - 1.035X_2 - 0.847X_3 - 2.164X_4 + 0.2437X_1X_2 - 0.0104X_1X_3 + \\ & + 0.406X_1X_4 - 0.177X_2X_3 - 0.4146X_2X_4 - 0.006X_3X_4 + 0.0271X_1X_2X_3 - 0.0646X_1X_2X_4 - \\ & - 0.0104X_1X_3X_4 + 0.032X_2X_3X_4 - 0.0896X_1X_2X_3X_4. \end{aligned} \quad (9)$$

Моделнинг ихчамлашган кўринишини олиш учун Стюдент критерияси ёрдамида аҳамиятли қийматларини оламиз.

$$S^2(\bar{y}) = \frac{1}{N \cdot m} \sum_{u=1}^N S_u^2(y) = \frac{6.2}{16 \cdot 3} = 0.129, \quad (10)$$

$$S(b_1) = \sqrt{\frac{1}{N} S_u^2(\bar{y})} = 0.0898, \quad (11)$$

$$\Delta b = t_{0.05N(m-1)} \cdot S(b_1) = 2.05 \cdot 0.0898 = 0.184. \quad (12)$$

Ҳисоблашлар натижасида $b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{14}$ ва b_{24} коэффициентлар аҳамиятли деб топилиб, кейинги ҳисоблашларни шу коэффициентлар билан давом эттирилди.

Бунда регрессия тенгламаси қуйидагича бўлди:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_R = & 80.84 - 0.852X_1 - 1.035X_2 - 0.847X_3 - 2.164X_4 + \\ & + 0.2437X_1X_2 + 0.406X_1X_4 - 0.4146X_2X_4. \end{aligned} \quad (13)$$

Олинган моделнинг адекватлигини текшириш учун Фишер критериясидан фойдаланимиз.

Бунинг учун чиқувчи факторнинг тажрибавий ва ҳисобий қийматларини қуйидаги 3-жадвалга киритамиз ва ўзаро таққослаймиз.

3-жадвал

Чиқувчи факторнинг тажрибавий ва ҳисобий қийматлари

№	\bar{Y}_u	Y_{Ru}	$\bar{Y}_u - Y_{Ru}$	$(\bar{Y}_u - Y_{Ru})^2$
1	86.53	86.80	-0.27	0.0729
2	83.63	83.80	-0.17	0.0289
3	83.67	83.42	0.25	0.0625
4	81.53	81.39	0.14	0.0196
5	85.5	85.11	0.39	0.1521
6	82.13	82.11	0.02	0.0004
7	81.33	81.72	-0.39	0.1521
8	79.67	79.69	-0.02	0.0004
9	80.67	80.83	-0.16	0.0256
10	79.33	79.45	-0.12	0.0144
11	79.23	79.10	0.13	0.0169
12	78.87	78.70	0.17	0.0289
13	79.17	79.14	0.03	0.0009
14	78	77.76	0.24	0.0576
15	77.4	77.41	-0.01	0.0001
16	76.7	77.00	-0.30	0.09
$\sum_{u=1}^N$			-0.07	0.7233

Демак, модел аҳамиятли коэффициентлар сони $N_K = 7$ ни ҳисобга олсак:

$$S_{\text{нао}}^2(y) = \frac{\sum_{u=1}^N (Y_u - Y_{Ru})^2}{N - N_K} = \frac{0.7233}{16 - 7} = 0.08 \quad (14)$$

Бу сон $S^2(\bar{y}) = 0.129$ сондан катта бўлганлиги учун критериянинг ҳисобий қиймати формула орқали ҳисобланади:

$$F_R = \frac{S_{\text{нао}}^2(y)}{S^2(\bar{y})} = \frac{0.08}{0.129} = 0.622. \quad (15)$$

Фишер критериясининг қийматини махсус жадвалдан топамиз:

$$F_T [P_D = 0.95; f_1(S_u^2 = 32); f_2(S_{\text{нао}}^2) = N - N_K = 16 - 7 = 9] = 2.33. \quad (16)$$

Демак $F_R < F_T$ бўлганлиги учун модел адекватдир, яъни у тозалаш жараёнида тозалаш самарадорлиги кўрсаткичини ўзгаришини мос ифодалади.

Тажриба натижаларини таҳлили. Тадқиқотларни янада ойдинлаштириш мақсадида тенгламани сонли ечимини ЭХМ нинг Excel дастурида ечилиб, параметрларни боғлиқлик графиклари олинди.

Хулоса. Тўлиқ омилли тажрибалар натижасида, такомиллаштирилган пахтани майда ифлосликлардан тозалаш машина ишчи параметрларини оптимал қийматлари аниқланди. Умумий графиклар таҳлили ва олинган регрессия тенгламаси экстремумга ечилиб, тўрли сирт параметрлари, тўрли сирт таянчларидаги резина бикрлиги, козиқли барабан ва тўрли сирт орасидаги технологик тирқишнинг тозалаш самарадорлигини оширишни таъминловчи қуйидаги оптимал қийматлари топилди. Унга кўра $H=5\text{т/соат}$; $c=2 \cdot 10^3\text{Н/м}$; $h=14\text{ мм}$ ва $l=60\text{ мм}$. Топилган оптимал қийматларда баҳолаш мезонининг қиймати, яъни УХК агрегатининг тозалаш самарадорлиги 85.1% ни ташкил этади. Таҳлилларга асосан пахта тозалаш машиналаридаги мавжуд тўрли сиртга нисбатан тавсия қилинган қайишқоқ таянчли кўп қиррали тўрли сиртлар қўлланилганда машинанинг тозалаш самараси юқорилиги аниқланди.

АДАБИЁТЛАР

- [1] Первичная обработка хлопка-сырца / Под. ред. Зикриёев Э. Ташкент: Мехнат, 1999. – 399 с.
- [2] Ражабов О., Далиев Ш. Патент РУз/АР 2017 0019/ Сетчатая поверхность очистителя волокнистого материала.
- [3] Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. Учебник. М.: «Легкая индустрия», 1980. – 135 с.
- [4] Мамаатов А.З. Технологик жараёнларни математикмоделлаштириш. Тошкент: Фан, 2005. 39 – 45 б.

Бухоро муҳандислик технология институти

14.09.2018 й
кабул қилинган

О.И. Ражабов. Математическое моделирование параметров новых многогранных сетчатых поверхностей очистителей хлопка-сырца от мелкого сора

В статье приведены конструктивная схема и принцип работы новой многогранной сетчатой поверхности на эластической опоре на очистителе хлопка-сырца от мелкого сора. Полнофакторные экспериментальные результаты были предоставлены для предлагаемой новой многогранной сетчатой поверхности на эластической опоре. На основе анализа определены оптимальные значения параметров сетчатой поверхности.

O.I. Rajabov. Mathematical modeling of new multilayered surface parameters in machines of purification of cotton raw materials from fine waste

The article presents a constructive scheme and the principle of operation of a new polyhedral mesh surface on an elastic support for a raw cotton cleaner from small litter. Full-factor experimental results were provided for the proposed new polyhedral mesh surface on an elastic support. The optimal values of the parameters of the mesh surface were determined by analysis.

ПРЕИМУЩЕСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ И ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ

Повышение строительно-технических свойств бетона – прочности и долговечности является одной из важнейших задач современной строительной индустрии по получению бетонов со специфическими особенностями, которые удовлетворяли бы техническим требованиям на всех этапах как строительства, так и эксплуатации зданий и сооружений.

Высококачественный бетон (ВКБ) представляет собой сложную смесь, часто содержащую 5 – 10 различных компонентов, таких как портландцемент, мелкий и крупный заполнитель, добавки – модификаторы и др. Взаимодействие между ними может привести к значительным изменениям в удобоукладываемости бетонной смеси, наборе ее прочности, плотности структуры и других свойств бетона. Бетон считается высококачественным, если соответствует следующим критериям [1, 2]:

- а) имеет одну из перечисленных прочностных характеристик:
 - после 4 ч прочности на сжатие > 17.5 МПа;
 - после 24 ч прочности на сжатие > 35 МПа;
 - в возрасте 28 суток прочности на сжатие > 70 МПа;
- б) имеет (после 300 циклов замораживания и оттаивания) фактор долговечности > 80 %.
- в) имеет водовяжущее отношение < 0.35.

По данным [2], ВКБ – это бетон с особыми свойствами, которые не могут быть характерны для обычного бетона. Эти свойства представлены:

- высокой ранней прочностью на сжатие и растяжение;
- улучшенной удобоукладываемостью других технических свойств;
- улучшенными свойствами долговечности и химической стойкости;
- улучшенной водонепроницаемостью;
- стойкостью к истиранию.

В 1993 г. Европейский комитет по бетонам (ЕКБ) принял решение, согласно которому «высококачественные» бетоны – это бетоны, изготовленные из высокоподвижных бетонных смесей с $v/c < 0.4$ и обладающие [3]:

- прочностью на сжатие в возрасте двух суток 30 – 50 МПа или в возрасте 28 суток 60 – 150 МПа;
- морозостойкостью 600 и выше;
- водонепроницаемостью менее 1 – 2 %;
- истираемостью не более 0.3 – 0.4 г/см².

Несмотря на то, что высокопрочный бетон часто рассматривался как относительно новый материал, его развитие было постепенным в течение многих лет. В 1950-е годы бетон с прочностью на сжатие более 35 МПа считался высокопрочным. В 1960-е годы во многих странах в промышленном масштабе начали применять бетон с прочностью 41 и 53 МПа. В начале 1970-х годов стали применять бетон с прочностью 62 МПа; в 1982 г. – 75 МПа; в 1987 г. – 117 МПа и в 1988 г. – 133 МПа [4 – 6]. В настоящее время в развитых странах Европы и США бетон с прочностью 120 МПа считается коммерчески доступным, товарным бетоном.

В России в настоящее время разработаны комплексные модификаторы нового поколения на органо-минеральной основе – порошкообразный продукт, содержащий микрокремнезем, суперпластификатор и регулятор твердения. С его применением созданы бетоны высоких эксплуатационных свойств, в том числе из бетонных смесей высокоподвижной и литой консистенции на обычном портландцементе марки 400 при расходе 500 кг/м³ и обычных заполнителях из твердых пород. При этом достигается следующее:

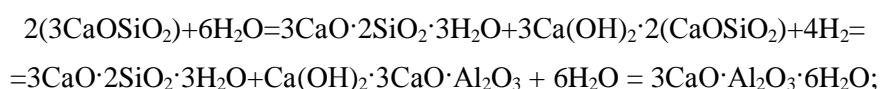
- получение бетона по прочности на сжатие В60 и выше;
- повышение водонепроницаемости бетонов до марки W16 и выше;
- повышение коррозионной стойкости (к сульфатной, хлоридной агрессии, воздействию слабых кислот при $pH > 3$) и морозостойкости ($F > 1000$);

- улучшение перекачиваемости и сохраняемости бетонных смесей, повышение их стабилизирующих и водоудерживающих свойств.

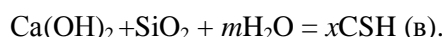
Важнейшим условием получения высокопрочных бетонов на цементах рядового помола считается использование суперактивных минеральных наполнителей – микрокремнезёма и высокодисперсных зол ТЭС с минимальным содержанием несгоревших остатков [3]. Такие наполнители способны связывать гидролизную известь портландцемента уже в ранние сроки гидратации (через 1 – 2 суток твердения). Образование высокодисперсных гидросиликатов кальция, кристаллизующихся в порах и в контактных зонах более крупных частиц цемента и песка, улучшает структуру цементного камня, способствуя повышению ранней прочности.

Известно, что аморфный кремнезём играет важнейшую роль в механизме взаимодействия между активным микронаполнителем и минералами, полученными при гидратации цемента. При затворении цементно-зольной смеси водой протекают химические и физико-химические процессы [7], к которым относятся:

- процесс гидратации и твердения клинкерных минералов самого вяжущего с образованием обычных гидратированных продуктов, повышающих рН гидросиликатов, гидроалюминатов, гидросульфалюминатов, гидроксида кальция:



- химическое взаимодействие продуктов гидратации вяжущего с активной составляющей золы, обладающей пуццоланическими свойствами; гидроксид кальция реагирует с кремнезёмом с образованием гидросиликатов кальция типа CSH (В):



В результате жидкая фаза системы обедняется известью, что вызывает протекание «вторичных» реакций между активным кремнезёмом с основными продуктами гидратации клинкерных минералов $2\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в следующем порядке:

а) разложение метастабильное:



б) гидролиз высокоосновных алюминатов кальция:



Микрокремнезём (МК) является побочным продуктом–ультрадисперсным отходом, получаемым кварцем высокой чистоты с углем или коксом и деревянными стружками в электрической дуговой печи при производстве кремнезёмного металла или ферросилициевых сплавов. Особое внимание обращено на использование МК как материала для бетона, частично замещающего портландцемент. Эти отходы, называемые микрокремнезёмом, представляют собой конденсированные аэрозоли и по общепринятой классификации относятся к категории дымов.

Химический состав МК (%) приведен в таблице.

Химический состав микрокремнезёма, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	C	S
90 – 92	0.68	0.69	0.85	1.01	0.61	1.23	0.98	0.26

Значение показателя рН водной суспензии МК составляет в среднем – 7.74:

в неуплотненном состоянии: 0.17 – 0.20 т/м³, 75⁰ – 80⁰;

в уплотненном состоянии: 0.40 – 0.70 т/м³, 25⁰ – 30⁰.

Свойства: размер частиц МК можно проиллюстрировать сравнением с другими порошкообразными материалами:

микрокремнезём – 140 000 – 300 000 см²/г,

золы уноса – 4 000 – 7 000 см²/г,

портландцемент – 3 000 – 4 000 см²/г.

Удельная поверхность по воздухопроницаемости составляет 10 – 25 тыс. см²/г, что в 3–10 раз превышает аналогичный показатель для цемента.

Использование ультрадисперсных отходов производства ферросплавов и кристаллического кремния в качестве активных микронаполнителей для бетонов в настоящее время является одним из наиболее эффективных путей решения следующих важных задач строительной индустрии:

- получения высокопрочных и особо плотных бетонов и железобетонных конструкций с улучшенными свойствами долговечности, химической стойкости и стойкости к истиранию;
- сокращения энергоёмкости производства бетона и, в необходимых случаях, экономии цемента.

На территории СНГ МК в бетоне применяется с середины 1980-х годов [4].

Следует отметить, что в России, Казахстане и Украине заводы по производству ферросплавов и кристаллического кремния ежегодно получают 100 – 200 тыс. т ультрадисперсных отходов. Это количество примерно составляет четверть объема, улавливаемого системами газоочисток на всех аналогичных производствах в мире.

Таким образом, начиная с 1980-х годов по настоящее время, МК широко применяется в роли неотъемлемо активной минеральной добавки в производстве бетонов со специфическими требованиями. Хотя МК является одной из добавок в качестве заполнителя, он играет основную роль в придании заданных свойств, которые не могут быть получены при отсутствии МК. Это – улучшенные свойства долговечности, химической стойкости и стойкости к истиранию.

Исследования также показали, что продукт, полученный от сжигания рисовой шелухи (РШ), может найти применение как активная минеральная добавка для бетона. Анализ показывает, что кремний, относящийся по форме к монокремниевой кислоте, в почве глубоко проникает в растения риса от их корней. Эта растворимая форма кремния переходит на поверхность растения и зерен риса. Там она собирается для формирования мембраны целлюлозо-кремнезёма. Кремний после проникновения в растения риса существенно концентрируется на шелухе зерна риса и является главным компонентом, составляющим часть её неорганического вещества.

Показано [8], что при сжигании РШ в контролируемых режимах времени и температуры получается зола, содержащая аморфный кремнезём. Аморфный кремнезём является основным компонентом МК, полученного при производстве кремнезёмного металла или ферросилициевых сплавов. Исследования [5] подтверждают, что в интервале 500 – 600⁰С полученная зола содержит аморфный диоксид кремния. До 800⁰С начинает формироваться кристобалит – форма кристалльного диоксида кремния без активности. В работе [9] по результатам рентгеновских анализов утверждается, что при 700⁰С и в течение различного времени сжигания, даже в течение 30 ч, еще образуется аморфный кремнезём. Исследования [6] также показывают, что при температуре менее 700⁰С независимо от времени сжигания полученная зола содержит кремнезём.

Таким образом, при соответственном режиме сжигания (при температуре менее 700⁰С) полученная зола рисовой шелухи имеет высокое содержание аморфного кремнезёма – до 97 – 98 %.

Одним из наиболее перспективных направлений в начале XXI в. в области строительного материаловедения является создание материалов с принципиально новыми характеристиками, приближающими их к металлу, керамике и полимерам. Представляется, что эту серьёзную задачу можно решить, привлекая комплексные модификаторы специального назначения, с использованием которых окажется возможным получить и группу специальных вяжущих. Эти материалы должны характеризоваться также высокими прочностными показателями при изгибе и растяжении, а также сверхвысокой плотностью и прочностью при сжатии.

Следовательно, можно выделить следующие перспективные направления, требующие дальнейшего интенсивного развития в области разработки модифицированных цементных систем:

- направленное регулирование свойств бетонных смесей и бетонов введением в их состав модификаторов в виде совмещенного продукта полифункционального многоцелевого назначения на основе поверхностно- активных веществ (ПАВ) и электролитов различной природы и механизма действия;
- разработка регуляторов процессов схватывания и твердения на основе солей органических кислот и соединений олигомерно – полимерного состава, в том числе ускорителей твердения, не вызывающих коррозии арматуры;
- расширение сырьевой базы для создания и производства эффективных пластификаторов и суперпластификаторов;

- модифицирование олигомерной цепи молекул и создание на этой основе продуктов полифункционального действия;
- создание материалов нового поколения на основе цемента, специальных вяжущих и модификаторов полифункционального действия, по своим характеристикам приближающихся к металлу, керамике и полимерам.

Общим направлением развития бетоноведения на ближайшие десятилетия является дальнейшее повышение основных физико-технических свойств бетона по сравнению с достигнутым на сегодня уровнем, снижение энергозатрат и трудоемкости на всех технологических пределах производства, ресурсосбережение природных материалов и более активное применение крупнотоннажных минеральных отходов. Для реализации данного направления необходимо решение ряда конкретных задач [6]:

- разработка композиции (составов) бетонов типа высокоэффективных бетонов с высокими гарантированными физико-техническими свойствами;
- создание нового поколения модификаторов различного назначения с целью направленного управления структурой и свойствами бетонов, в том числе из самоуплотняющихся быстротвердеющих бетонных смесей;
- разработка новых видов мелкозернистых многокомпонентных бетонов с широким диапазоном физико-технических свойств с максимальным насыщением их составов техногенными отходами;
- разработка методик прогнозирования важнейших характеристик бетонов – долговечности, кинетики твердения бетона в изделиях и т.п.;
- пересмотр и разработка основных нормативных документов и их гармонизация с международными стандартами.

Создание высококачественных бетонов и растворов требует высокой культуры производства как на стадии приготовления бетонных смесей, так и в процессе строительства объектов. Новая технология бетона и железобетона требует нового мышления, поэтому при создании сооружений и конструкции, а также при усовершенствовании их качественных характеристик необходимо научное сопровождение.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shah S. P., Ahmad S. H. High Performance Concrete Properties and Applications. McGraw-Hill, 1994. – 403 p.
- [2] Attard M. M. Introduction to High Performance / High Strength Concrete. High Performance Concrete – Short Course. P. 1 – 15.
- [3] Мчедлов-Петросян О. П., Ушеров-Маршак А. В., Москаленко С. Б. и др. Перспективы использования ПППФ в технологии сборного железобетона // Бетон и железобетон. 1986. № 9.
- [4] Hamad M. A., Helmy M. Crystallite growth of rice husk ash silica // Thermochimica. Acta. Vol. 45. 1981. P. 79 – 85.
- [5] Mehta P. K. Siliceous ashes and hydraulic cements prepared therefrom. US Patent. 4105459. 1978. August.
- [6] Малинина Л. А., Батраков В. Г. Бетоноведение: настоящее и будущее // Бетон и железобетон. 2003. № 1. С. 2 – 6.
- [7] Штарк И., Вихт Б. Долговечность бетона / Пер. проф. Тулаганова А. Киев: ОРАНТА, 2004. – 295 с.
- [8] Al-Khalaf M. N., Yousif H. A. Use of rice husk ash in concrete // J. Cement Composite and Lightweight Concrete. Vol. 6. 4. 1984. November. P. 241 – 248.
- [9] James J., Rao M. S. Silica from rice husk through thermal decomposition // Thermochimica Acta. Vol. 97. 1986. P. 329 – 336.

Ташкентский институт по проектированию,
строительству и эксплуатации автомобильных дорог

Дата поступления
27.12.2018

А.А. Ашрабов, Г.А. Касимова, Х. Алменов, М.А. Ашрабова. Юқори самара ва мустаҳкамликка эга бўлган бетонларни қўллашнинг афзаллиги ва истиқболлари

Мақолада юқори сифатли бетоннинг хусусиятлари, комплекс модификаторларнинг унинг мустаҳкамлиги ва умрбоқийлигини яхшилашга таъсири кўрсатилади. Замонавий илмий тадқиқотларнинг таҳлили шуни кўрсатадики, келгуси ўн йилларда бетон соҳаси фани ривожланишининг умумий йўналиши бетоннинг асосий физикавий ва техник хусусиятларини бугунги даражага нисбатан янада яхшилаш, ишлаб чиқаришининг барча технологик жараёнларини қайта тақсимланишида энергия истеъмоли ва меҳнат сарфини камайтириши, катта тонажли минерал чиқиндилардан янада фаол фойдаланиши орқали табиий материаллар ресурсларни тежашидан иборатдир.

A.A. Ashrbov, G.A. Kasimova, H. Almenov, M.A. Ashrbova. Advantages and prospects of application high-efficient and high-strength concretes

The article discusses the properties of high-quality concrete, the effect of complex modifiers on improving its strength and durability. Analysis of modern scientific research shows that the general direction of development of concrete science in the coming decades is to further improve the basic physical and technical properties of concrete as compared to the level reached today, reduction of energy consumption and work content in all technological redistribution of production, resource conservation of natural materials and more active use of large-tonnage mineral waste.

УДК 621.893:667.2:620.22:633.5

Б.А. СОБИРОВ, Л.Й. БАКИРОВ, Ш.А. ХАЛИМОВ, М.У. ТУРАЕВ, А.Б. ДЖУМАБАЕВ

К СОЗДАНИЮ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ С УЧЕТОМ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ

Известно, что изделия из полимерных и композиционных материалов применяются практически во всех отраслях экономики и широко используются в машиностроении, в частности в автомобилестроении и приборостроении, а также в быту при изготовлении товаров широкого потребления. При этом особое значение имеет долговечность деталей и узлов машин из полимерных материалов.

Традиционно долговечность полимерных материалов определяется по общеизвестной эмпирической формуле С.Н. Журкова [1]

$$\tau = \tau_0 \exp\left[\frac{(u_0 - \gamma\sigma)}{R \cdot T}\right], \quad (1)$$

где τ_0 – постоянная, близкая к периоду тепловых колебаний атомов ($10^{-12} - 10^{-13}$ с); u_0 – энергия химических связей; γ – структурный коэффициент; σ – напряжение; R – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура.

Однако эта формула не приемлема для прогнозирования долговечности полимерных материалов по релаксации напряжений в различных условиях эксплуатации, например, вибрации, трении и др.

Автором работы [2] предлагается расчетно-экспериментальный метод долговечности полимерных материалов, работающих в условиях релаксации напряжений с учетом вибрации и трения.

Сущность метода заключается в том, что релаксация напряжений в присутствии трения определяется уравнением

$$\sigma_{TP} = \sigma_t - E_0 A \left[t^n - \gamma^a \int_0^t e^{-\gamma(1+a)(t-\tau)} \tau^n d\tau \right], \quad (2)$$

где σ_t – равновесное напряжение; E_0 – мгновенный модуль упругости; A , n – постоянные материала; γ , a – параметры ядра релаксации; t – время опыта; τ – время релаксации.

Подставляя уравнение (2) в уравнение (1), получим выражение для оценки долговечности:

$$\tau = \tau_0 \exp\left[\frac{u_0 - \gamma(\sigma_t - B)}{R \cdot T}\right], \quad (3)$$

где $B = E_0 A \left[t^n - \gamma^a \int_0^t e^{-\gamma(1+a)(t-\tau)} \tau^n d\tau \right]$ – коэффициент линейной вязкоупругости.

Подставляя значения коэффициента B в уравнение (3) после соответствующего упрощения

и решая уравнение относительно τ , получим

$$\tau = \tau_0 \exp \left[\frac{1}{R \cdot T} \left(u_0 - \gamma \cdot \sigma_\infty \frac{\exp(u_0 - \gamma \sigma)}{R \cdot T} \right) \right], \quad (4)$$

где σ_∞ – предельно допустимое напряжение после релаксации.

Уравнение (4) является одной из многочисленных модификаций классического уравнения С.Н. Журкова, которое называют уравнением С.С. Негматова – А.А. Норкулова [2, 3].

Для установления области работоспособности полимерного материала значения σ_0 , u_0 и γ выбираются из справочных источников или определяются экспериментально.

Оценка долговечности машиностроительных полимерных материалов осуществляется расчетом величины релаксации напряжений при различных технологических и эксплуатационных режимах, согласно уравнению (4) с использованием компьютерной программы [4].

Разработанная нами методика оценки долговечности полимерных материалов с учетом релаксации прошла лабораторно-экспериментальное опробирование в лаборатории завода “Термопласт полимер” при Шуртанском газо-химическом комплексе (ШГХК) с использованием универсальной машины FS500 AT (рис. 1) и на промышленной продукции предприятия (табл. 1).

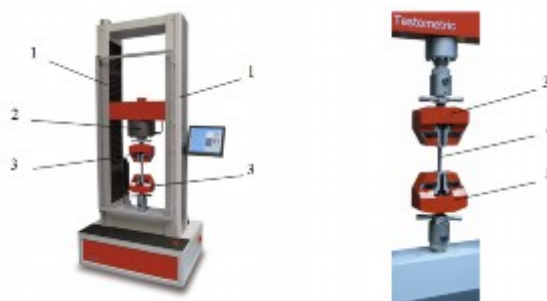


Рис. 1. FS500 AT машина для испытания полимерных материалов при растяжении и сжатии:
1 – двухстоячная рама; 2 – нагрузочное устройство; 3 – зажим образца; 4 – образец

Универсальная машина для испытания материалов FS500 AT с компьютерным управлением, включающая использование Testometric в многофункциональных «winTest™ анализ» программного обеспечения, работает под управлением операционной системы Windows™. Испытание на установке, полностью настраиваемой и простой, более сложные многоступенчатые процедуры тестирования задаются с помощью стандартного ПК через последовательный интерфейс.

Таблица 1

Промышленные марки полиэтиленов, выпускаемых в ШГХК

Полиэтилен низкой плотности	Полиэтилен средней плотности	Полиэтилен высокой плотности	
F-Y720	R-0333	F-Y240	I-0754
F-Y920	WC-Y734	P-Y242	B-Y456
F-0120	F-Y336	P-Y342	P-Y456
F-0220	WC-Y434	F-Y346	I-0760
F-0320	P-Y337	O-Y446	B-Y460
I-0525	R-0338	R-0448	I-2560
I-1625		B-Y250	I-1561
		O-Y750	O-Y762

Примечание: F – плёнка (film); I – литьё (injection); R – ротационное формование (rotation); WC – провод и кабель (wire and cable); P – труба (pipe); O – ориентированные структуры (oriented tapes); B – формование раздувом (blow).

Универсальная машина FS500 AT (см. рис. 1), снабженная комплексом компьютерных программ, представляет готовый результат по величине релаксации напряжения [5]. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

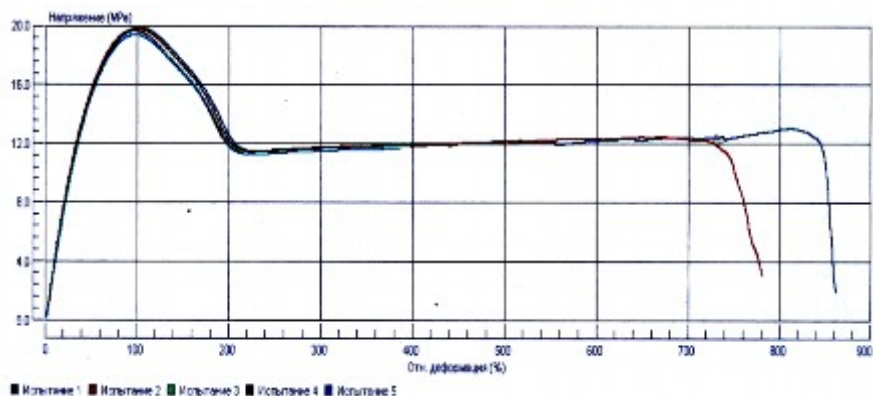


Рис. 2. Компьютерная диаграмма закономерности изменения релаксации напряжения от величины деформации для термопластичного полимера марки P-Y342

Однако следует отметить, что для стационарного режима исследования вышеуказанные методы и средства изучения релаксации напряжения для установления закономерности напряжения и деформации от времени, без учета сопутствующих факторов, например трения, выбрания и др., вполне приемлемы. Что касается оценки долговечности материалов по величине релаксационных напряжений, полученных на приборе по А.С. №998918, считаем не совсем верным, так как на измеряемую величину напряжения отрицательное влияние оказывает показатель линейного изнашивания экспериментального образца.

В связи с этим возник естественный вопрос о разработке релаксометра, учитывающего влияние трения и изнашивания материалов.

Исследователи, моделируя трение различных материалов с хлопком-сырцом, разработали специальные установки. Анализ существующих методов и приборов подтверждает, что каждый метод и прибор имеет свои особенности и пригоден только тогда, когда исследуемые пары трения на приборах взаимодействуют в условиях, наиболее близких к реальным. Наиболее удобными для физического моделирования и проведения экспериментов с учетом различных факторов являются дисковые и пальчиковые образцы фрикционного взаимодействия материалов [6].

На основе этой схемы предлагаются существенные конструктивные изменения дискового трибометра: использование гидравлической системы, вместо механической системы нагружения. Получен патент РУз на полезную модель FAP 00782 «Дисковый трибометр».

С использованием отмеченного дискового трибометра в настоящее время разработан государственный стандарт [7], который широко применяется в научных исследованиях в Республике Узбекистан.

С целью универсализации назначения трибометра в научных исследованиях разработана дополнительная конструкция, позволяющая измерять релаксации механического напряжения в испытуемых образцах из композиционных полимерных материалов, на которую получен патент РУз на полезную модель №FAP 01039 с участием авторов данной статьи. Представим описание полезной модели «Дисковый трибометр для измерения релаксации напряжений в полимерных материалах» (рис.3).

В основу изобретения положена задача расширения области применения дискового трибометра за счет создания его модификации, позволяющей выполнять замеры параметров релаксации напряжений в полимерных материалах в условиях трения с более высокой достоверностью и точностью показателей.

Устройство отличается от аналога тем, что узел стабилизации, выполненный в свободном подпоршневом пространстве, представляет собой держатель, который имеет форму усеченного конуса. Последний установлен основанием кверху с возможностью перемещения по вертикальной оси гидроцилиндра, имеющего в стенках 4 прямые шлицеобразные пазы. На основании конуса вырезаны 4 полупризматических выступа, входящие в шлицеобразные пазы.

Этим обеспечивается повышенная устойчивость (за счет исключения перекосов) держателя при передвижении по вертикали гидроцилиндра, который способствует равномерному распределению нагрузки на испытуемый образец, размещенный в держателе, а также на связанное с держа-

телем, жестко закрепленное на основании усеченного конуса, а сверху – зафиксированное в углублении поршня тензометрическое кольцо с тензодатчиками (рис. 4).

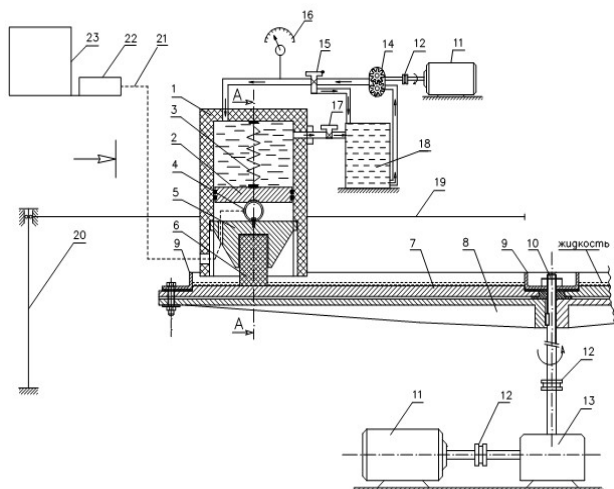


Рис. 3. Дискный трибометр для измерения релаксации напряжений в полимерных композиционных материалах

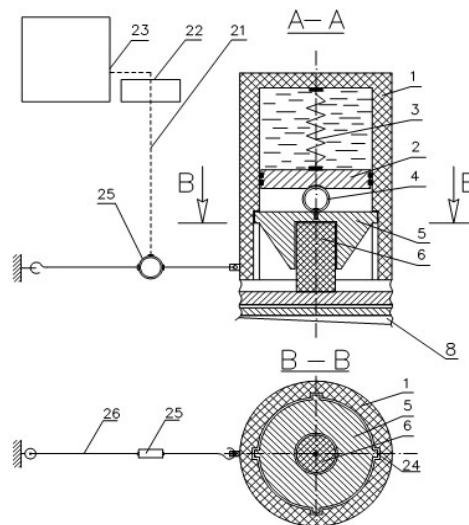


Рис. 4. Дискный трибометр для измерения релаксации напряжений в полимерных композиционных материалах (разрез А-А, см. рис. 3)

Контролируемая через систему редукционного клапана и манометр нагрузка, её равномерное распределение на измерительный элемент и испытуемый образец, получаемый за счет конструкции держателя и расположения в нем элементов в предложенной взаимосвязи, способствуют установлению необходимых для исследования режимов и получению более достоверных и точных замеров.

Установление тензометрического кольца с тензодатчиками для измерения сил трения на тросе перпендикулярно плоскости стрелы, по которой перемещается гидроцилиндр, позволяет при радиальном движении гидроцилиндра фиксировать действительную величину натяжения троса и определять достоверную величину силы трения между испытуемым образцом и покрытием из конструкционного материала, находящегося на опорном диске.

Предлагаемое устройство работает следующим образом:

В гидроцилиндр 1, установленный на стреле 19, с возможностью поворота вокруг оси 20 под воздействием сил трения и под фиксированным давлением 14 МПа, создаваемым шестеренчатым насосом 14, подают жидкость (воду или минеральное масло) из емкости 18 через редукционный клапан 15 и манометром 16, регулирующим давление.

Под давлением жидкости, поступающей в надпоршневое пространство гидроцилиндра 1, вертикальная пружина 3 и поршень 2 двигаются вниз, оказывая давление также на тензометрическое кольцо 4 с тензодатчиками, через которое передается на основании держателя 5, выполненного в виде усеченного конуса, в который помещен испытуемый образец 6. Держатель 5 под давлением двигается вниз по шлицеобразным прорезам 24 гидроциклона, прижимая испытуемый образец 6 к покрытию 7 испытуемого материала, нанесенного на опорный диск 8. Опорный диск 8 вращается в горизонтальной плоскости с помощью электродвигателя постоянного тока 11 через вертикальный приводной вал 10, муфту 12 и редуктор 13, обеспечивающие нужные линейные скорости по радиусу трения. Экспериментально установлены оптимальные соотношения радиуса трения к диаметру нижней части гидроцилиндра – 0.5 – 1.5.

Нагрузка для создания давления на испытуемый образец 6 контролируется редукционным клапаном 15 и манометром 16. Избыточная жидкость отводится через сливной кран 17 в исходную ёмкость 18. Исследования проводились как в сухой среде, так и с подачей жидкости в область трения испытуемых образцов.

Определение релаксации напряжения полимерного образца 6, установленного в полости держателя 5, при трении производилось сжатием тензометрического кольца, расположенного между поршнем 2 и основанием держателя 5, с подачей нагрузки и созданием давления. Показатели величины напряжения и времени релаксации определялись посредством программно-аппаратного

комплекса “Spider 8” 22, подключенного к компьютеру 23 через провод 21. Данные получали в виде графика зависимости нагрузки от времени релаксации.

Для измерения релаксации напряжения образец деформируют до заданной величины, которая остается постоянной во времени, а начальное напряжение, необходимое для поддержания этой деформации, уменьшается со временем.

В результате определяется зависимость напряжения от времени при постоянной деформации, которая достигается путем регулирования силы нагрузки по мере релаксации напряжения.

Авторами были проведены исследования как в сухой, так и во влажной среде. При температуре 20 °С, при заданной деформации 15.5 % и линейной скорости 0.5 м/с контрольная величина напряжения испытуемого образца составила 14 МПа. При проведении исследований устойчивое напряжение релаксации во времени было достигнуто через 60 мин испытаний. В сухой среде величина релаксации составила 8.4 МПа, а в жидкой – 10.1 МПа. Чем меньше меняется показатель напряжения от времени по сравнению с контрольным, тем лучше условия для взаимодействия материалов и выше надежность полимерного композиционного материала, работающего в условиях трения и изнашивания.

Отсюда можно сделать вывод, что процесс предпочтительней проводить во влажной среде, чем в сухой, поскольку показатель во влажной среде на 1.7 МПа выше.

Использование предлагаемого авторами модернизированного дискового трибометра-релаксометра и данного метода позволит значительно упростить измерение релаксации напряжений в полимерных материалах с учетом трения за счет устойчивости и компактности установки, надежности замеров и точности, а также использования программно-аппаратного комплекса “Spider 8” для измерения показателей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Журков С. Н. Микромеханика разрушения полимеров // Механика полимеров. 1974. № 5.
- [2] Норкулов А. А. Анализ релаксации напряжений в композиционных полимерных материалах // Высокие технологии в машинооборудовании: Сб. науч. труд. Нац. техн. университета. Харьков, 2006. С. 351 – 352.
- [3] Негматов С. С., Норкулов А. А. Исследование долговечности полимерных материалов в условиях релаксации напряжений // Композиционные материалы. Ташкент, 2007. № 3. С. 55 – 57.
- [4] Норкулов А. А., Эшкobilов О. Х., Джумабаев Д. А., Зиямухамедов Ж. У., Дусткабиллов Э. Н. № DGU 20110006 «Программа моделирования релаксаций напряжения с учетом трения и изнашивания полимерных материалов» // Расмий ахборотнома. Тошкент, 2011. № 3. 175 – 176 б.
- [5] Руководство пользователя WinTest AnalysisTM. Термопласт полимер, 2011. – 52 с.
- [6] Джумабаев А. Б., Караев Ф. Ж., Эшкabilов О. Х. О совершенствовании метода и испытательной установки для изучения процесса трения материалов // STANDART. 2011. №1. С. 24 – 26.
- [7] Государственный стандарт РУз О’zDSt 22.28-2014. Метод определения триботехнических свойств материалов с волокнистой массой (Официальное издание–32 с.).

Ташкентский государственный технический университет

Дата поступления
12.09.2018

Б.А. Собиров, Л.Й. Бакиров, Ш.А. Халимов, М.У. Тураев, А.Б. Джумабаев. Ишқаланиш ва ишдан чиқишни ҳисобга олиб полимер композицион материалларда кучланиш релаксацияси тадқиқотлари учун қурилма яратиш
Мазкур мақолада полимер материаллари кучланиш релаксациясини назарий ва амалий тадқиқот натижалари тахлили асосида ўта мураккиб жараёни аниқ баҳолаш имконини берадиган янги қурилманинг яратилиши асосланган.

B.A. Sobirov, L.Y. Bakirov, Sh.A. Halimov, M.U. Turaev, A.B. Dzhumabayev. To the creation of an installation for the study of stress relaxation in polymer composite materials taking into account friction and wear

In this paper, we analyse the results of theoretical and experimental studies of stress relaxation in polymeric materials, taking into account friction and wear.

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УЎК 625.12.033.38

3.3. ЕРГАШЕВ, Ф.Э. АБДУҚОДИРОВ

ТЕМИР ЙЎЛ ЕР ТЎШАМАСИДАГИ БАЪЗИ МЕХАНИК ТАЪСИРЛАР ҲАҚИДА

«Ўзбекистон Темир Йўллари» АЖ томонидан олиб борилаётган ислохотлар, ривожлантириш дастурлари темирйўлчилар учун катта маъсулят билан ёндошишни талаб этмоқда. Қўшни давлатлар билан йўлга қўйилаётган алоқалар темир йўллар билан ҳам туташмоқда. 2018 йилнинг 9 март куни Тожикистон билан йўлга қўйилган “Ғалаба-Амузанг-Хашади” бунга ёрқин мисолдир.

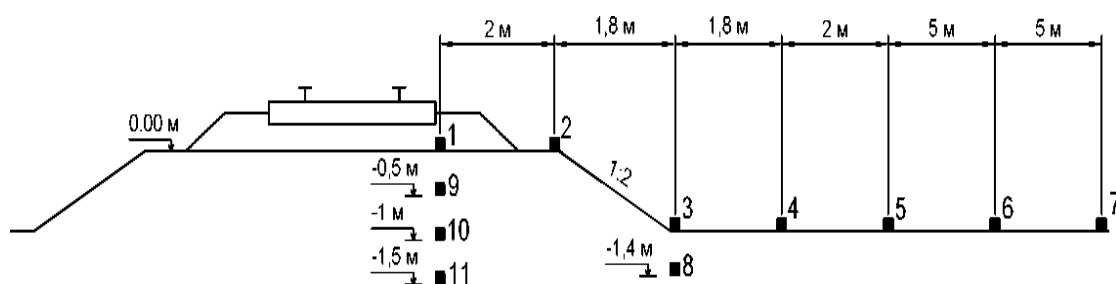
Қурилаётган янги темир йўллар ёки модернизация ишлари олиб борилаётган перегонларда грунтларнинг механик ҳолатларини ўрганишни, олинган натижалар бўйича темир йўл ер тўшамасининг, ер кўтармасининг, ўймасининг геометрик ўлчамларини беришни такозо қилади.

Қурилиш ишлари айниқса бархан қумли грунтларда олиб борилаётган перегонлардаги геологик шарт-шароитларни маълумотномалардан олиб баҳолаш мумкин. Бу оддий ҳолатлар учун фақатгина бошланғич маълумотлар бўлади.

Республикамизда ҳудудларини лойиҳалаш меъёрий қоидаларини ҳақиқийликка яқинлаштириш бўйича катта илмий изланишлар олиб борилмоқда. Илмий изланишлар натижалари бўйича маълумотномалар ҳудудларнинг аниқ қийматлари билан юкланмоқда. Лекин меъёрий ҳужжатларда бундай грунтга таъсир этувчи турли техник тузилмаларнинг вибродинамик юклар таъсири бўйича методик кўрсатмалар йўқ.

Ҳақиқий қийматларни, натижаларни олиш учун дала шароитида изланиш олиб борилди: Ўзбекистон темир йўлларининг Учқудуқ-Мискен участкасидаги темир йўл ер кўтармаси тўлиқ бархан қумларидан қурилган [1].

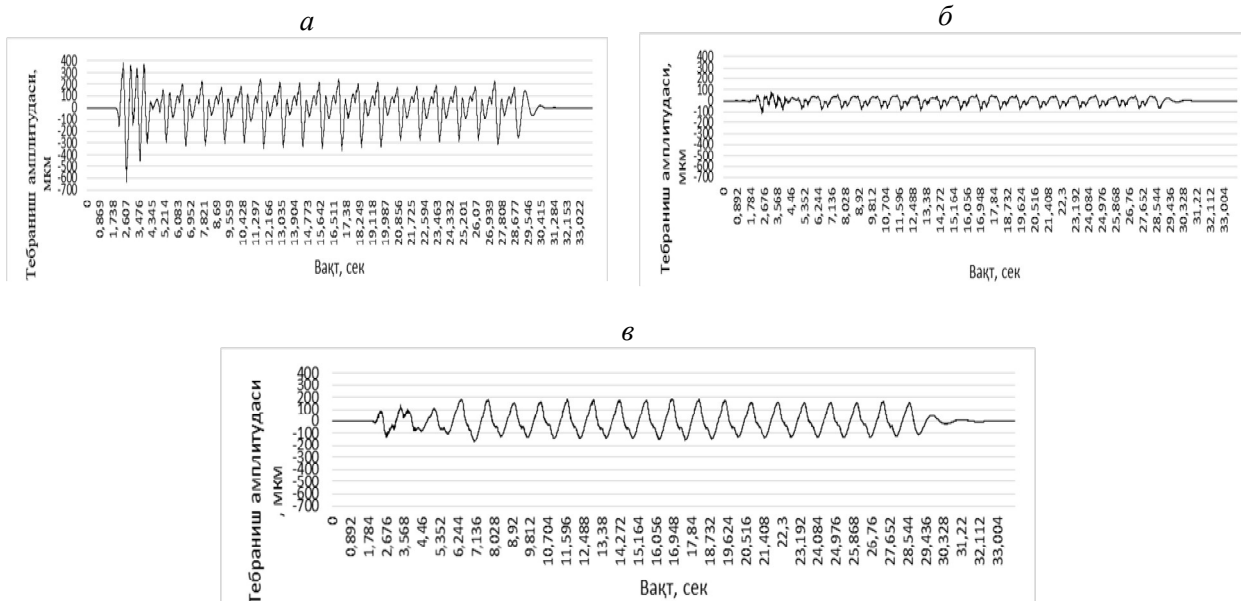
Бунда ер тўшамаси Р65 рельс, шпаллар эпораси 1840 км/дона, КБ турдаги маҳкамлагичли, балласт призмаси қалинлиги 30-40 см. Дала ишлари пайтида поездлар интенсивлиги 10 та юк поезд, 5 та йўловчи поезд суткада ҳаракатланди. Ўрнатилган юқори тезлик юк поезд учун 80 км/соат, йўловчи поезда учун 100 км/соат ўрнатилди. Юк ва поездлар учун 2ТЭ10 тепловози ўрнатилган. Бархан қумлар тебранишларининг амплитуда-частоталик характеристикаси СМ-3 сейсмопремник орқали қайд этилган (1-расм) [2].



1- расм. Датчикларнинг ер кўтармаси ва ундан ташқарида жойлашув схемаси

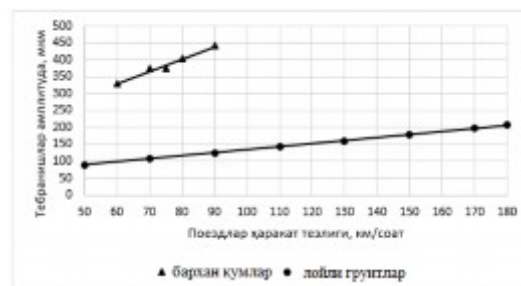
Темир йўл ер тўшамасининг йўловчи поездининг 70 км/соат тезликдаги қайд намунасида 2-расмда кўрсатилган бўлиб, унда тебранишнинг учта ташкил этувчилари кўрсатилган: а) вертикал бўйича тебраниш амплитудаси; б) горизонтал йўл бўйлаб тебраниш амплитудаси; с) горизонтал йўлга тик тебраниш амплитудаси.

Расмдан кўриниб турибдики қайдномада амплитуданинг максимал қиймати поездлар ҳаракат таркибининг вертикал ташкил этувчи тебранишлари бўйича юзага келган.



2 – расм. Бархан кумли ер тўшамасининг 70 км/соат тезликдаги асосий юзадаги қайди: а – вертикал бўйича тебраниш амплитудаси; б – горизонтал йўл бўйлаб тебраниш амплитудаси; в – горизонтал йўлга тик тебраниш амплитудаси

Натижаларнинг муҳим жиҳати бархан кумлардан қурилган ер тўшамаси тебранишлар амплитудасининг жадал ўзгартириши бўлмоқда. Мисол учун, И.В.Прокудин [3] тадқиқотлари шуни кўрсатмоқдаки, йўловчи поездларининг 90 км/соат тезликдаги ҳаракатида, икки из оралиғи 1520 мм бўлган лойли грунтларда асосий йўл майдонида тебранишлар амплитудаси 125 мкм бўлган бўлса, бархан кумли грунтларда бу кўрсаткич 440 мкм бўлган, яъни 3.5 баробар кўп (3-расм).



3–расм. Тебранишлар амплитудасининг йўловчи поездлар тезлигига боғлиқлиги

Амалий тадқиқотлар натижаларида бархан кумлардан ётқизилган темир йўл ер тўшамаси мустаҳкамлик ҳисобларида, асосий майдонида бархан кумларининг амплитуда-частота кўрсаткичлари аниқланди.

АДАБИЁТЛАР

- [1] Ергашев З.З., Абдукамилов Ш.Ш., Абдукадыров Ф.Э. Исследование интенсивности колебаний земляного полотна, возведённого из барханных песков // Халқаро илмий-конференция. Самарканд. 2017. 312 – 315 б.
- [2] Абдукамилов Ш.Ш. Колебательный процесс железнодорожного земляного полотна из барханных песков // Вестник ТашИИТ. Вып. 1–2. Ташкент: ТашИИТ, 2014. – 6 с.
- [3] Прокудин И.В. Прочность и деформативность железнодорожного земляного полотна из глинистых грунтов, воспринимающих вибродинамическую нагрузку: Дис. ... докт.техн.наук. ЛИИЖТ, 1982. – 455 с.

Тошкент темир йўл муҳандислари институти

23.10.2018 й.
қабул қилинган

3.3. Ергашев, Ф.Э. Абдукодиров. О некоторых механических действиях на железнодорожном земляном полотне

В статье рассмотрена важнейшая особенность – резкое увеличение амплитуд колебаний земляного полотна, возведённого из барханных песков.

Yergashev Z.Z., Abdukodirov F.E. On some mechanical action on the railway earthlings canvas

The article considers the most important feature - a sharp increase in the amplitudes of oscillations of the subgrade, filled with sand dunes.

Р.Д. МАТЧАНОВ

**ИНТЕГРАЦИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ, ПРИКЛАДНОЙ, ВУЗОВСКОЙ НАУКИ
С ПРОИЗВОДСТВОМ НА БАЗЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА**

Наша страна стремительно меняется. Перед отраслями экономики, предприятиями, институтами, да и перед каждым гражданином Узбекистана встает практический вопрос: как найти свое место в этом быстро меняющемся мире? Для решения поставленных задач необходимы совершенно новые механизмы. Служившая долгие годы система, когда научно-исследовательские работы проводит институт, прикладные работы – конструкторское бюро, испытания – испытательная станция и т.д., в условиях рыночной экономики эффекта не дает.

Ведущие зарубежные фирмы научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) проводят комплексно. Например, фирма «Кроне» ежегодно тратит на НИОКР более 18 млн евро, «Клаас» – свыше 150 млн евро, «Джон-Дир» – 600 – 700 млн долл. США.

В отечественном сельхозмашиностроении для развития НИОКР Постановлением Президента Республики Узбекистан от 25 мая 2012г. №1758 предусмотрены отчисления 1 % от себестоимости реализованной предприятиями продукции.

Прогресс любой отрасли, в том числе в механизации сельскохозяйственного производства, в наибольшей степени определяется достижениями науки, техники, использованием новых технологий.

Сегодня меняется структура сельского хозяйства: уходим от монокультуры хлопчатника. Начали культивировать новые сельскохозяйственные культуры. Ставится задача резкого повышения производительности работ и качества производимой продукции.

В сельском хозяйстве широкое распространение получает производство продукции на кластерной основе. Однако не разработаны требования к кластерам, учитывающие местные условия. Наблюдается широкий разброс в использовании междурядий для возделывания хлопчатника, технологий и технических средств. Имеет место разномарочность машин, их разунификация, отсутствие специалистов по использованию новых технологий и технических средств, их эксплуатации и сервисного обслуживания. Ощущается нехватка простых надежных современных сельхозмашин отечественного производства.

Для оперативного решения этих проблем, на наш взгляд, наиболее эффективным является организация НИОКР и производства нужных технических средств на основе научно-технического кластера. С Министерством инновационного развития, с руководством институтов, вузов и предприятий согласовано проведение совместных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на основе механизма научно-технического кластера, который направлен на решение большой социальной и экономической проблемы: внедрение в Узбекистане технологии одноразового машинного сбора хлопка.

Проведение НИОКР на основе кластера предусматривает следующее:

– выбор скороспелых сортов хлопчатника, приспособленных к машинному сбору урожая хлопка, и технологию их возделывания, проектирования базового набора машин для формирования агрофона хлопкового поля и одноразового машинного сбора хлопка-сырца, методических основ для оценки эффективности базового набора машин, а также разработку программ обучения бакалавров, магистрантов и докторантов современным методам конструирования, эксплуатации и сервисного обслуживания новых сельхозмашин;

– создание модельного хозяйства для испытаний новых технологий и технических средств для возделывания хлопчатника и других культур.

Программы работ сформулированы на научно-техническом заделе и многолетнем опыте проведения разработок и производства сельхозмашин.

В реализации проекта примут участие следующие исполнители с решением конкретной проблемы, являющейся звеном в общей технологической цепочке возделывания хлопчатника и уборки урожая хлопка-сырца:

1. Научно-исследовательский институт селекции, семеноводства и агротехнологии выращивания хлопчатника (НИИССАВХ) – обоснование выбора скороспелых сортов хлопчатника, приспособленных к механизированной уборке, и технологии их возделывания.

2. Научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства (ИМЭСХ) – разработка ресурсосберегающей технологии и технического средства для основной гладкой обработки почвы.

3. Совместное предприятие «УзКейсмаш» – доработка и изготовление модификации сеялки для точного сева семян хлопчатника в междурядьях 90 см; разработка энергосберегающей технологии и культиватора для мелкокомковатой обработки почвы в междурядьях хлопчатника.

4. Акционерное общество «ВМКВ-Agromash» – разработка технологии и технического средства для объемного формирования кустов хлопчатника под машинный сбор хлопка.

5. Совместное предприятие «Agrixim» – разработка технологии и технического средства для химической обработки, электростимуляции, дефолиации и десикации растений хлопчатника.

6. Акционерное общество «Technolog» – разработка и изготовление комбинированной хлопкоуборочной машины для селективного одноразового сбора хлопка.

7. Институт механики и сейсмостойкости сооружений Академии наук Республики Узбекистан – разработка методов расчета пневмотранспортных систем хлопкоуборочных машин для селективного одноразового сбора хлопка.

8. Конструкторско-технологический центр сельскохозяйственного машиностроения (ООО «КТЦСМ») – разработка переналаживаемого энергетического средства для агрегатирования базового набора машин с целью формирования агрофона хлопкового поля с одноразовым сбором всего урожая хлопка.

9. Узбекский государственный центр по сертификации и испытанию сельскохозяйственной техники и технологий при Кабинете Министров Республики Узбекистан (УзГЦИТТ) – разработка методических материалов и нормативов для проведения испытаний и оценки современных технологий и технических средств с целью формирования агрофона хлопкового поля под одноразовый машинный сбор хлопка.

10. Ташкентский государственный технический университет (ТГТУ им. И.Каримова) – разработка методических основ и программы обучения бакалавров, магистрантов и докторантов перспективным направлениям конструирования современных сельхозмашин.

11. Ташкентский институт ирригации и механизации сельского хозяйства (ТИИИМСХ) – разработка методических основ и программы обучения бакалавров, магистрантов и докторантов современным методам эксплуатации и сервисного обслуживания новых сельхозмашин.

Проект предусматривает инновационное развитие механизации работ в хлопководстве путем интеграции фундаментальной, вузовской и прикладной науки с производством.

В результате реализации проекта ускорится решение проблемы по сокращению ручного труда при уборке урожая хлопка путем внедрения технологии селективного одноразового сбора хлопка.

Полевые опыты будут проводиться на полях УзГЦИТТ.

Базовой организацией при реализации проекта будет выступать Конструкторско-технологический центр сельхозмашиностроения (ООО «КТЦСМ»).

ООО «КТЦСМ» является головной конструкторской и технологической организацией отрасли сельскохозяйственного машиностроения Республики Узбекистан. Основные направления научно-технической политики в этой отрасли определены в Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-3117 от 7 июля 2017 г. «О мерах по дальнейшему развитию научно-технической базы сельскохозяйственного машиностроения».

Актуальность, научная новизна и практическая полезность проекта заключается в реализации Научно-технического кластера, объединяющего решения проблемы агротехники возделывания хлопчатника, проектирования базового набора технических средств, подготовки кадров для их конструирования, эксплуатации и сервисного обслуживания, а также оценки эффективности научно-технических разработок, позволяющих в совокупности формировать необходимый агрофон хлопкового поля и внедрить в Узбекистане технологию одноразового машинного сбора хлопка.

Работа строится с использованием опыта силиконовой долины (США), Сколково и Новосибирского академгородка (Россия). Для реализации крупных проектов нужны квалифицирован-

ные компетентные кадры. Их следует воспитывать на решении конкретных производственных задач. Именно эти проблемы и указаны в Постановлении Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему расширению участия отраслей и сфер экономики в повышении качества подготовки специалистов с высшим образованием» от 28 июля 2017 г. Документ предусматривает кардинальные изменения связей между вузами, НИИ, конструкторскими бюро и предприятиями. Вот строки из этого Постановления: «...Для углубления интеграции между производством, наукой и образованием сформировать базу научно-исследовательских тем по проблемам научно-технического развития отраслей (сфер), находящихся в ведении министерств и ведомств в составе комплексов, а также системно привлекать научный потенциал, в особенности молодых ученых и исследователей высших образовательных учреждений, к решению научно-технических задач на основе хозяйственных договоров с высшими образовательными учреждениями...»

В мировом машиностроении фирм, производящих машины только одного наименования, практически не осталось. Сельхозпроизводители заинтересованы в приобретении комплекса машин одной фирмы для возделывания конкретной культуры. В этом случае все машины по параметрам согласованы между собой, каждая осуществляет «свою» технологическую операцию, создавая фон (агрофон) для работы следующей машины комплекса. При этом машины унифицированы между собой по деталям и узлам общего назначения. Фирма-изготовитель обеспечивает сервисное обслуживание всех машин комплекса. В качестве примера можно привести «Ростсельмаш», CNH, АГКО, Джон Дир и др.

Отечественное сельхозмашиностроение также имело свое лицо в виде комплекса машин для возделывания хлопчатника и уборки урожая хлопка. Сервисное обслуживание отечественного комплекса машин осуществляли областные и районные технические центры, которые управлялись фирмой «Машхолдингсервис», входящей в состав холдинговой компании «Узсельхозмашхолдинг».

Исследовательскую, конструкторскую и технологическую работу целесообразно проводить в рамках одного проекта. Должна быть четкая взаимосогласованная система разработки энергетического средства (трактора) и машин для проведения комплекса технологических операций по возделыванию конкретной сельхозкультуры. Выхватывание из общей технологической цепочки какой-то одной машины, будь-то трактор или сеялка, или культиватор, является пустой тратой времени и ресурсов.

В пользу кластерной системы организации НИОКР можно привести следующий пример. Конструктору необходимо разработать машины для механизации работ в садах. Раньше агротехнические требования к конкретным машинам для работы конструкторов готовили ученые института механизации, а им в свою очередь требования к агроприемам давали агрономы института садоводства, которым селекционеры предлагали для возделывания необходимые сорта плодовых культур. На это уходило много времени. Мы не приводим еще время на испытания машин, время на подготовку производства на заводе.

На рисунке приведены механизм организации НИОКР и производство техники на кластерной основе. Схематично показаны постановка задачи, механизм ее реализации и получаемый результат.

Объединение нескольких проектов, которые реализуются участниками комплексного проекта в общую программу, позволит кооперироваться их научно-техническим и производственным потенциалам, что ускорит внедрение научно-технических разработок в производство. Результаты разработок будут использоваться на предприятиях сельхозмашиностроения, сельском хозяйстве, НИИ и вузах.

В сегодняшнем быстро меняющемся мире для того, чтобы успешно конкурировать с мировыми лидерами в сельхозмашиностроении и механизации сельскохозяйственного производства, нужно создавать свои оригинальные подходы к решению поставленных задач.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские проблемы, решаемые в данном проекте, являются итогом совместной работы исполнителей в общих проектах на протяжении многих лет.

Накопился ряд оригинальных научных и технических решений, которые могут быть доведены до производства только при объединении усилий фундаментальной, вузовской, отраслевой науки, конструкторских бюро и заводов-производителей. В том числе технология и техническое решение по основной обработке почвы, севу, культивации, формовке кустов хлопчатника, хими-

ческой обработке растений одновременно с электростимуляцией, дефолиации, десикации, селективному одноразовому сбору урожая хлопка, переналаживаемому трактору. Все упомянутые технические решения оригинальны, учитывают местную специфику рискованного земледелия, защищены патентами или патентуются.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, часть учебного процесса бакалавров, магистрантов и докторантов будут проходить в непосредственной связи с производством.

Участники проекта имеют достаточный научный технический потенциал. В НИИ и вузах сложились свои научные школы и творческие коллективы, которые реализуют фундаментальные, прикладные и инновационные проекты в направлении разработки технологии и технических средств для возделывания сельхозкультур.

Данный прикладной проект вытекает из ныне реализуемого участниками исследований фундаментального проекта: «Изучение технологических и технических механизмов управления агрофоном хлопкового поля для внедрения технологии одноразового машинного сбора хлопка (в сжатые сроки и без потерь) в условиях рискованного земледелия».

Для реализации проекта будут задействованы лабораторное оборудование и стендовое хозяйство КХМЭИ и ИМиСС АН РУз, опытно-экспериментальные цеха КТЦ и АО «ВМКВ-Агромаш», станочный парк АО «Technolog», СП «УзКейсмаш» и СП «Agrixim», экспериментальные базы УзГЦИТТ и НИИССАВХ.

В результате реализации проекта в целом будет разработан первоочередной, базовый набор технических средств, который позволит выполнять на современном уровне основные технологические операции по формированию необходимого агрофона хлопкового поля для внедрения в Узбекистане одноразового машинного сбора всего урожая хлопка. Технические средства, которые освоит заводы, можно будет экспортировать в хлопкосеющие страны.

СП «Агрихим»

Дата поступления
05.12.2018

Р.Д. Матчанов. Фундаментал, амалий, ОТМ фанининг илмий-техник кластер асосида ишлаб чиқариш билан интеграцияси

Мақолада хатарли даҳқончилик шारоитида пахта даласи агрофонини шакллантириш ва машинада бир марталик пахта терими учун техник воситалар базавий тўпламини лойиҳалаш ва ишлаб чиқариш масалалари кўриб чиқилади. Бу комплекс муаммони ҳал этиш учун фаннинг ишлаб чиқариш билан кластер асосидаги интеграцияси механизми тақриф этилган.

R.D. Matchanov. Integration of fundamental, applied university science with production on the basis of a scientific and technical cluster

The article deals with the design and production of a basic set of technical means for the formation of an agricultural background for a cotton field and a one-time machine harvest of cotton under conditions of risky farming. To solve this complex problem, the mechanism of the integration of science and production on a cluster basis is proposed.

УДК 539.3

Т.Р. РАШИДОВ, Е.В. АН

ВЛИЯНИЕ РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТА НА ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ

В отечественной и зарубежной литературе за достаточно длительный период времени опубликовано много сведений о поведении подземных конструкций во время землетрясений.

Подземные сооружения получают повреждения, начиная с землетрясений интенсивностью 7 баллов и выше, причем повреждения и разрушения, в основном, концентрируются возле сложных узлов – в местах присоединения к инженерным сооружениям, ответвлений, резких поворотов и т.д. Колодцы подземных трубопроводов при 8-балльном землетрясении могут получить незначительные повреждения различного характера: переломы, разрывы, трещины в их теле, выпирание стыков и т.д.

Фактические материалы о поведении подземных сооружений при землетрясениях, в частности, детальное изучение воздействия Ашгабатского (1948), Ташкентского (1966), Газлийского (1976), Кум-Дагского (1983) и других землетрясений на подземные сооружения различного назначения, полная систематизация всех аварий позволили установить влияние многих факторов на повреждаемость этих сооружений. В работе [1] сделан анализ повреждений в трубопроводах при вышеперечисленных землетрясениях. Часть этого анализа приведем далее.

Несмотря на сравнительно небольшие размеры территории, в Газли наблюдается разнообразие инженерно-геологических условий, мощность поверхностного слоя пылеватых песков меняется от 1.0 до 8.5 м. Его подстилают слои алевролитов, глин и песчаников. Уровень грунтовых вод залегает ниже 30 м. В то же время поверхностные слои насыщены водами, фильтрующимися из проходящего вблизи города канала, потерями бытовой влаги, атмосферными осадками и др. Уровень этих вод равен 0.5 – 1.5 м, что в ряде районов города привело к дополнительному увеличению интенсивности сейсмического воздействия.

При землетрясении в Ниигата (Япония, 1964 г., 9 баллов) возникли значительные деформации в толще грунтового массива. На поверхности земли образовались трещины и наблюдалось разжижение грунтов. Большое число повреждений отмечалось на трубопроводах, проложенных параллельно направлению расположения сейсмических волн, в виде значительных деформаций в местах тройниковых соединений, углов поворота и отводов. Имеются также массивы с плотными грунтами (здесь отсутствуют повреждения), с перемеживающимися грунтами от плотных до мягких и с мягкими намывными грунтами со стороны русла реки. Основными причинами повреждений трубопроводов в районах с перемежающимися (от плотных до мягких) грунтами являются неравномерные перемещения грунта вдоль трассы. В мягких намывных грунтах в старом русле реки обнаружены выпучивания распределительных колодцев на водопроводной сети, а также осадка зданий вблизи трасс. Основные разрушения трубопроводов (более половины) произошли в мягких намывных грунтах. В ряде случаев обнаружены переломы стальных труб малого диаметра и выпучивания трубопроводов.

По данным японских исследователей, во время землетрясения в Мияги 1972 г., помимо повреждений и разрушений подземных трубопроводов, обнаружены случаи подъема из-под земли участков трубопровода, образовавших пологие арки. Это было вызвано большими деформациями в толще грунтового массива и действием значительных продольных сжимающих сил. Аналогичные повреждения были при землетрясении в районе Кум-Даг (Туркмения, 14 марта 1983 г.) и при землетрясении в Калифорнии 1952 г.: на поверхности земли образовались трещины, наблюдалось поднятие грунта. После того как была вскрыта траншея, на двух участках трубопровода протяженностью 49 и 394 м обнаружены выпучившиеся участки. Максимальная высота волны выпучивания трубопровода соответственно составляла 11 и 25.8 см. В Кум-Дагском землетрясении были отмечены разрушения в трубопроводах, наибольшая аварийность наблюдалась на трубах питьевого водоснабжения, что можно объяснить наличием значительного числа ответвлений, кроме того, эти трубопроводы на большом протяжении пересекают зону трещин в грунте. Наиболее характерное разрушение трубопроводов – разрывы секций, выпучивания труб, разрывы задвижек, срез в местах соединения коллекторов и разводящих труб, проложенных на участках, пересекаемых трещинами в грунте.

Эффект разжижения грунтов, проявляющийся при наличии определенных предпосылок во время землетрясений, в ряде случаев является причиной катастрофических осадок грунтовых оснований, сопровождающихся массовыми разрушениями зданий и многочисленными человеческими жертвами. Типичным примером сейсмического разжижения грунтов является землетрясение в Ашгабате 1948 г. В результате резкого снижения несущей способности грунтовых оснований зданий и сооружений город был практически полностью стерт с лица земли. Большинство повреждений трубопроводов во время землетрясения 1948 г. произошло на сравнительно небольшой территории в северной части Ашгабата, где грунтовые условия были наименее благоприятными, аналогичная ситуация наблюдалась и при Ташкентском землетрясении, где в результате сейсмического воздействия возникли заметные деформации в грунтовой толще в зоне разжижения грунтов. Из анализа фактических материалов о поведении подземных трубопроводов при этих землетрясениях выявлено, что большое число повреждений произошло в местах присоединения распределительных отводов к главным магистралям, а также в местах присоединения трубопроводов к другим

сооружениям, колодцам и т.д. Разрушения трубопроводов обнаруживались в тех местах, где во время землетрясения образовались значительные трещины в земле. В Ашгабате из-за большой коррозийной поврежденности многих стальных трубопроводов число аварий на водопроводной сети было значительным и до землетрясения.

В Кайраккуме (Хужанд – 8 баллов) обнаружены разрывы и разрушения сварки труб с деформацией в грунтовой среде. Больше всего разрушились подземные трубопроводы, уложенные в рыхлых грунтах, и малого диаметра. На базе этих материалов были сделаны следующие основные выводы:

Сопоставление числа аварий и величин среднего внутреннего давления в сети в момент землетрясений показывает, что подземные сооружения типа трубопроводов повреждаются и разрушаются преимущественно в местах присоединения их к резервуарам, колодцам, насосным станциям, фундаментам зданий, домовым сводам, в местах ответвлений, вблизи резких поворотов, в положенных через реки, овраги и т.д., т.е. около сложных узлов. Одной из основных причин повреждения и разрушения стыков чугунных водопроводных труб от воздействия высокоинтенсивных (7 баллов и выше) землетрясений является величина внутреннего давления в сети в этот момент, а также глубина заложения напорных чугунных трубопроводов. Причём, чем жёстче стык, тем больше повреждений.

Еще одним из главных факторов повреждаемости сооружений являются грунтовые условия их заложения. Наибольшее количество повреждений отмечалось в сооружениях, уложенных в рыхлых грунтах, а также в местах контакта грунтов с резко отличающимися физико-механическими свойствами.

Данные систематизации происшедших аварий в результате сейсмических воздействий показывают, что с увеличением глубины заложения трубопроводов снижается их удельная аварийность (число аварий на 1 км трубопроводов, уложенных в заданном диапазоне глубины). Отдельные антисейсмические мероприятия могут снять ограничения, связанные с глубиной заложения, так как полученные критерии позволяют, с достаточной точностью, ограничить величину заложения трубопроводов для рационального решения максимальной безопасности в сейсмическом отношении и снижения затрат на строительство.

Сопrotивление сейсмическому воздействию растёт с увеличением диаметра сооружения, т.е. трубы с большими диаметрами имеют меньшую среднюю аварийность. Это установлено по числу повреждений трубопроводов.

Значительное влияние на аварийность чугунных водопроводных труб оказывает величина внутреннего давления в трубопроводе. В напорных трубопроводах при землетрясениях существенное влияние на сейсмические нагрузки, перемещения, возникающие в трубах, оказывает напор жидкости, протекающей в трубе. С увеличением напора в трубе возрастало количество разрушений.

Для обеспечения сейсмостойкости подземных конструкций необходимо соблюдение специальных требований при их проектировании и строительстве.

Из этих выводов вытекала необходимость качественной и количественной оценки влияния конструктивных особенностей и геометрических размеров сооружений, глубины их заложения и ряда других факторов на сейсродинамику подземных сооружений. Эти материалы в последующем были использованы для обобщения и развития теории сейсмостойкости подземных сооружений.

Сейсродинамическая теория подземных сооружений [2] основана на фактических данных о последствиях прошедших Ашгабатского и Ташкентского и других вышеотмеченных землетрясений. Ключевой момент этой теории – установление наличия относительного движения между сооружением и окружающей средой (на основе изучения последствий воздействия этих землетрясений).

В [3] разработана методика для проведения опытов с использованием метода центробежного моделирования. На основе предложенного метода проведены многочисленные экспериментальные исследования с подземными трубопроводами и сооружениями различных геометрических размеров и форм, а также исследования по определению параметров взаимодействия трубопроводов со стыковыми соединениями, уложенными в грунтовых средах, с изменяющимися физико-механическими свойствами по глубине.

В последнее время появились ряд международных публикаций и данные о последствиях сильных землетрясений, указывающих, что на поведение подземных сооружений оказывают влияние разломы, обвалы и водонасыщенность грунта.

В [4 – 7] рассмотрены материалы о повреждениях систем жизнеобеспечения во время сильных землетрясений, прошедших в мире, представленных на XIV (Пекин, 2008 г.) и XV (Лиссабон, 2012 г.) Всемирных конференциях по сейсмостойкому строительству, а также на Международной конференции по проектированию в геотехнической инженерии (Япония, 2009 г.), Европейской конференции по сейсмостойкому строительству (Турция, 2014 г.) и др. По материалам обследований установлено, что уровень повреждений был связан со свойствами окружающего грунта.

Следует отметить, что некоторые подземные сооружения были существенно повреждены при воздействии крупных землетрясений: в 1995 г. – в Кобе (в Японии); в 1999 г. – Тайване (Chi-Chi, Taiwan); в 1999 г. – в Турции (Kocaeli, Turkey). Например, одно из самых сильнейших землетрясений 17 января 1995 г. в области Кобе (Япония), произошедших когда-либо в Японии. Эпицентр располагался очень близко к Кобе, примерно в 20 км. Общее количество погибших от землетрясения составило пять тысяч человек. Это землетрясение являлось уникальным явлением, потому что оно произошло в результате смещения трех тектонических пластов. Последствия этого землетрясения были катастрофическими: нанесен огромный ущерб всему, что было на поверхности. После землетрясения в области было почти 200 000 разрушенных зданий, бесчисленное число разбитых дорог и порванных линий электропередач, рухнул один километр участка возвышенной скоростной автомагистрали Хансин, были нарушены газо- и водоснабжение. Последствиями явились разрушения подземных линий электропередач, труб, ограждений и канализационных систем. Сдвиг под землей разрезал все, что находилось в эпицентре землетрясения.

После землетрясения в Chi-Chi (Taiwan, 1999 г.) были обнаружены существенные повреждения в системах водоснабжения, в том числе трубопроводов подачи воды, водоочистных сооружений, резервуаров и резервуаров для хранения воды. С помощью географической информационной системы (ГИС) было установлено, что трубы из ПВХ составили 86 % трубопроводов подачи воды, а остальные – сталь, чугун и др.

Во время землетрясения в 1999 г. система трубопроводов водоснабжения в Адапазари провинции Косаели в Турции была сильно повреждена. Основное повреждение наблюдалось на распределительных трубопроводах, главным образом, из-за деформаций грунта, связанных с разжижением и размягчением аллювиальных отложений.

В Японии при землетрясениях Kushiro-oki (1993), Hokkaido-toho-oki (1994), Tokachi-oki (2003) и Niigataken-chuetsu (2004) было повреждено 152.1 км труб, 1453 колодца, во многих местах канализационные трубы оказались выпученными, а канализационные колодцы поднятыми по причине разжижения окружающей среды. Наиболее серьезные повреждения – поднятия, оседания, отклонения, изгибы (повороты) трубопроводов и разрушение узлов наблюдались в глинистых, торфяных и песчаных грунтах. Высота поднятых и осевших трубопроводов и колодцев варьировала от нескольких сантиметров до нескольких десятков сантиметров [8 – 11]. Максимальный подъем колодца составил 1.3 м [10, 11]. Подъем канализационных колодцев – типичный и яркий пример разрушений, которые наблюдаются в развитых областях, пострадавших от крупных землетрясений. В довершение ко всему подъем канализационных колодцев оказывал серьезные препятствия движению транспорта во время спасательных и восстановительных работ. Основной причиной столь значительных повреждений сооружений явилось, по-видимому, то, что из-за нарушений проектных решений сейсмическая нагрузка значительно превысила расчетную. Дополнительный неблагоприятный эффект был вызван разжижением водонасыщенного грунта, что является основным параметром, влияющим на подъем сооружения.

Были проанализированы фактические данные о повреждениях подземных трубопроводов водоснабжения, канализации, теплопроводов, газопроводов и др. при землетрясениях в Сан-Франциско (1906), Loma Prieta (1989), Northridge (1994), Кобе (1995), Niigataken-chuetsu (2004), Аквила (2009), Darfield (2010), Чили (2010), Тохоку (2011), Крайстчерч (2011) и др. Собранный массив данных представлен примерно 400 образцами, 300 отредактированными книгами, статьями и докладами, посвященными последствиям землетрясений. Исследовано около 40 землетрясений с 1906 по 2010 г. На рисунке приведена база данных, разделенная на 5 классов [12].

Проблема выпучивания трубопроводов обострилась с тех пор, как начали применять укладку длинных плетей трубопровода в открытую траншею в районах с резко континентальным

климатом. Большие сложности возникают с горячими нефтегазопроводами, заглубленными в слабые грунты. В этом случае возможны повреждения колен малого радиуса изгиба и выпучивание над поверхностью земли протяженных линейных секций на неровной местности.

На основе результатов натурных обследований подземных сооружений при сильных землетрясениях сформулированы следующие основные причины повреждения подземных трубопроводов вследствие землетрясения: а) избыточные осевые и изгибные напряжения и деформации, возникающие из-за разности фаз и шага формы волны между двумя точками; б) разламывающие движения во время землетрясения, если трубопровод пересекает большой разлом; в) разжижение грунта; г) грунт с различной жесткостью двух смежных его горизонтальных слоев (когда труба проходит от твердого к мягкому грунту именно в районе перехода).

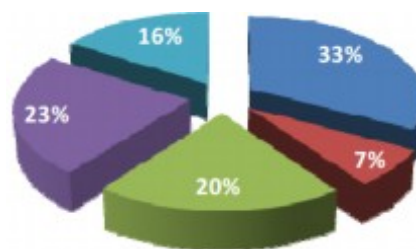
Рассмотрены исторические данные о прошлых землетрясениях на территории Японии и грунтовые условия на территориях, близких к эпицентру землетрясения. Отмечено, что с 1872 г. на территории Японии наблюдалось 44 случая разжижения грунтов во время землетрясений. Сформулировано следующее заключение:

- 1) нижняя граница для потенциального разжижения может быть определена как отношение между эпицентрными расстояниями и магнитудами землетрясений;
- 2) для определения потенциального разжижения необходимо принимать в расчет продолжительность толчка, преобладающий период движения грунта и максимальные ускорения;
- 3) разжижения случаются на аллювиальных песчаных отложениях, восстановленных (осушенных) землях, особенно на тех восстановленных, где в недавнем прошлом были реки, озера, моря.

По материалам обследований сильного землетрясения San Fernando Valley (Калифорния, 1971 г.) установлено, что наиболее серьезные повреждения в системах жизнеобеспечения произошли в местах резких горизонтальных или вертикальных поворотов трубопроводов или нарушений структуры грунта. Были повреждены четыре магистральные линии, которые имели диаметр от 12 до 26 дюймов (от 30.5 до 66 см). А в некоторых секциях наблюдались выпучивания 16-дюймовой (40.64 см) стальной трубы под действием сил сжатия, вызванных землетрясением.

Землетрясение в Chuetsu Offshore в 2007 г. вызвало выпучивание трубопровода малого диаметра при высоком давлении и магистральных линий со средним давлением, диаметры которых были 4" (10.2 см) и меньше, в 15 местах из-за сильного колебания грунта [13].

В период с сентября 2010 г. по декабрь 2011 г. на г. Крайстчерч – второй по величине город в Новой Зеландии, были обрушены в последовательности сильные землетрясения: 4 сентября 2010 г. ($M_w=7.1$), 22 февраля 2011 г. ($M_w=6.2$), 13 июня 2011 г. (землетрясения $M_w=5.3$ и $M_w=6.0$) и 23 декабря 2011 г. (землетрясения $M_w=5.8$ и $M_w=6.0$). Эпицентры этих землетрясений были расположены близко к черте города. Это вызвало очень сильные колебания грунта, нанося огромный ущерб всему городу. 22 февраля 2011 г. землетрясение было особенно разрушительным. Общее число погибших достигло 185 человек, а общий экономический ущерб оценен примерно в 30 млрд новозеландских долларов [14]. Разжижение грунта и камнепады привели к полному или частичному разрушению десятков тысяч жилых зданий, в частности разрушены два армированных многоэтажных бетонных здания и полностью или частично обрушились многие неармированные каменные конструкции, в том числе разрушен исторический собор Крайстчерч, а также повреждены системы жизнеобеспечения и инфраструктуры. Землетрясение нанесло огромный ущерб системе питьевой воды Крайстчерч. Предварительный анализ системы питьевой воды при землетрясении 22 февраля 2011 г. был проведен для того, чтобы сравнить и оценить эффективность различных материалов труб и повреждение трубопроводной сети от степени разжижения. Применяя ГИС-технологии, проведен подробный анализ системы водоснабжения, описаны характеристики разжижения грунтов и распространение их по сторонам. Разжижение привело к чрезмерной и неравномерной деформации грунта, в том числе к большим вертикальным (больше расчетных) и про-



Круговая диаграмма доли повреждений трубопроводов: 33 % – повреждения непрерывных трубопроводов при сильных колебаниях грунта; 23 % – повреждения сегментарных трубопроводов при прохождении разлома грунта; 20 % – повреждения непрерывных трубопроводов при прохождении разлома грунта; 16 % – повреждения надземных трубопроводов; 7 % – повреждения сегментарных трубопроводов при сильных колебаниях грунта.

дольным перемещениям, а также к трещинам и щелям в грунте. Анализ показал, что 20.2 % поврежденных труб были в областях с низкой – умеренной степенью разжижения; 2.5 % – в районах, где наблюдались следы разжижения и 19.3 % – в районах, где не наблюдались признаки разжижения. Таким образом, наблюдалась четкая связь между уровнем разжижения грунта и повреждением трубопроводной сети.

Далее проведено сопоставление между поврежденными трубами и уровнем разжижения. Данные результаты свидетельствуют о том, что для всех материалов труб существует четкое увеличение по длине повреждений с увеличением уровня разжижения. Установлена четкая связь между степенью разжижения грунта и повреждениями трубопроводной сети, примерно 80 % поврежденных водопроводов располагались в разжиженных областях.

После землетрясения 22 февраля проводилась интенсивная авторазведка в Крайстчерч, изучена степень разжижения грунтов по всему городу. В результате составлена карта разжижения, на которой указаны четыре области различной степени разжижения: а) от умеренной до высокой степени разжижения (очень большие площади покрыты большими объемами песка выброса, грязи и воды, большая деформация грунтов и поверхности тротуаров), и значительных воздействий разжижения, индуцированных на здания и инфраструктуру; б) от низкой до умеренной степени разжижения (как правило, аналогичными функциями, как для высокой степени разжижения, но меньшей интенсивности и степени); в) разжижения, преимущественно на дорогах с некоторыми свойствами (сильные последствия разжижения видны преимущественно на дорогах, с большими воронками и "отверстиями" для рассеивания порового давления, и ограниченного ущерба домов), и д) следы разжижения (явные признаки разжижения, но ограничены в размерах).

Очевидно, что при землетрясении повреждения подземных трубопроводов были вызваны вследствие очень больших деформаций грунта и сейсмических нагрузок, т.е. действующая нагрузка оказалась выше пределов прочности трубопроводной сети, что явилось результатом многочисленных повреждений и разрушений подземных сооружений.

Из анализа материалов приведенного обзора можно сделать следующие основные выводы:

Данные натурных обследований последствий землетрясений показывают, что повреждения подземных сооружений в рыхлых грунтах более значительны, чем в плотных, а также в водонасыщенных грунтах трубопроводы и другие подземные сооружения повреждаются сильнее, чем в сухих.

Существенное влияние на динамику подземных труб оказывают их размеры и свойства окружающего грунта. При анализе физико-механических свойств грунта и влияния их на динамическое поведение большое значение имеет такое явление, как разжижение грунта.

Степень повреждения трубопроводов во время землетрясения зависит от целого ряда факторов: силы сейсмического воздействия, геологических и гидрогеологических условий, эксплуатационно-технологических нагрузок и воздействий, конструкции трубопровода, его деформируемости, характеристик материала труб, сроков его эксплуатации и свойств окружающего грунта: его минерального и гранулометрического состава, структуры и текстуры, консистенции и других факторов физико-химической природы.

При действии внешних динамических нагрузок, возникающих под влиянием техногенных факторов, землетрясений и волноприбойных явлений, в водонасыщенных дисперсных грунтах могут развиваться специфические явления, выражающиеся в потере прочности грунта (разжижении), а затем, после прекращения воздействия, в постепенном ее восстановлении.

Увеличению риска сейсмического разжижения грунтов также способствует повышение уровня грунтовых вод, снижающее значение эффективного вертикального напряжения, что существенным образом смещает динамическое равновесие в сторону разжижения. Таким образом, для снижения риска сейсмического разжижения динамически неустойчивых грунтов рекомендуется провести мероприятия по водопонижению и уплотнению грунтов.

Как вытекает из приведенных обзоров, во всех рассмотренных материалах, особенно за последнее время, указывается на обострение влияния разжиженного грунта на повреждения и разрушения в системах жизнеобеспечения, в том числе подъем подземных трубопроводов, при землетрясениях. Таким образом, ныне одним из главных вопросов является строительство магистральных трубопроводов в грунтах, подверженных разжижению, зачастую слабых и водонасыщенных грунтах. В связи с этим становится актуальным вопрос исследования устойчивости магистральных

трубопроводов при их сейсмических нагружениях. Представляет также большой интерес подъем колодцев при их укладке в водонасыщенных грунтах.

Решен ряд задач, связанных с изучением устойчивости сооружений, взаимодействующих с различными грунтовыми условиями [15, 16]. К настоящему времени проведены исследования с различными моделями взаимодействия системы «подземный трубопровод – окружающий грунт». В частности, сформулированы задачи о динамической устойчивости подземных трубопроводов, взаимодействующих с водонасыщенными глинистыми грунтами, при действии сил в виде быстрого продольного и продольного пульсирующего нагружений, в которых реализуются кинематические модели взаимодействия, разработанные ранее в работах Т.Р. Рашидова и Ш.М. Сибукаева [17 – 19], и предложены методы решения этих задач. Проведены следующие исследования [20]:

1. Задача устойчивости при действии динамической силы в виде быстрого продольного нагружения решена в линейной и геометрически нелинейной постановках, используя аналитический метод. Подъем участка трубопровода из-под земли похож на выпучивание Эйлера в стержне: труба подвергается поперечному перемещению. Относительное движение распределяется на большое расстояние, следовательно, сжимающие напряжения в трубопроводе не слишком велики, поэтому не происходит разрывания стенки трубопровода. Выпучивание обычно происходит в трубопроводах, заложенных на небольших глубинах.

2. Проведен сравнительный анализ результатов решения задач и отмечается, что геометрическая нелинейность проявляется незначительно. Определена величина критической силы, при которой трубопровод оказывается в состоянии динамической неустойчивости. Эта задача также была решена численным методом. Хорошая сходимость сравнительного анализа результатов решения задачи, полученных аналитическим и численным методами, является подтверждением их достоверности.

3. В процессе эксплуатации трубопровод испытывает различные по характеру и величине нагрузки, которые приводят к его сложному деформированному состоянию. При этом в трубопроводе могут возникать большие осевые и изгибные деформации. В связи с этим изучены поперечные колебания подземного трубопровода с учетом геометрической нелинейности в процессе его деформирования при учете совместно продольных и поперечных перемещений трубопровода, что представляет сложную задачу, которую невозможно решить аналитически.

4. Основными параметрами процесса выпучивания являются осевая сила сжатия трубопровода, различные дефекты трубопровода (в виде начального прогиба), модель его поведения и характеристики грунтового покрытия. Процесс выпучивания трубопровода в значительной степени зависит от начальных дефектов. Когда осевое сжатие увеличивается, трубопровод подвергается только небольшим боковым отклонениям вплоть до критического значения. Если это значение превышено, теряется устойчивость, трубопровод движется в поперечном направлении.

5. Произведен большой объем вычислений при конкретных параметрах, отражающих геометрические характеристики трубопровода, а также их взаимодействие с окружающим грунтом, результаты которых представлены в виде графиков изменения максимальных поперечных перемещений трубопровода в зависимости от времени. Проведен сравнительный анализ результатов решения задач и отмечается, что геометрическая нелинейность проявляется незначительно. Выявлено влияние продольного перемещения трубопровода на его максимально возможные поперечные перемещения.

6. Рассматривается также задача о поперечных перемещениях трубопровода при наличии вынуждающей силы, порождаемой движением окружающего грунта, при котором частота внешнего возмущения вдвое больше собственной частоты поперечных колебаний трубопровода. Для массивных трубопроводов (стальных, чугунных и т.п.), расположенных в водонасыщенных глинистых грунтах, обладающих сравнительно невысокой вязкостью, выпучивание может проявляться в форме параметрического резонанса. Проведены численные расчеты и построены амплитудно-частотные характеристики трубопровода. А для легких трубопроводов (полимерных), расположенных в глинистых грунтах со сравнительно высокой вязкостью, исследование возможности их выпучивания сводится к решению обыкновенного дифференциального уравнения по методу А.Н.Тихонова. На основе численных расчетов построены графики изменения максимальных поперечных перемещений трубопровода в зависимости от времени. Для данной задачи также проведены сравнения результатов, используя двухзвенную и четырехзвенную модели взаимодействия с окружающим грунтом. На примере исследования выпучивания трубопровода, имеющего малую

погонную массу, при его продольном пульсирующем нагружении, показано, что допустимо пользоваться двухзвенной моделью взаимодействия.

7. Успешному решению этих задач способствовало использование современных технологий обработки информации с помощью компьютерной техники, в этом смысле актуальность и практическая ценность применения программного обеспечения, несомненно, возрастают. Получаемые результаты проведенных расчетов наглядны и легкодоступны для понимания и (что очень важно) легко поддающиеся обновлению.

8. Для конкретных числовых параметров построены графики, анализ которых позволил выявить влияние реологических параметров грунта, геометрических характеристик трубы на его устойчивость. Полученные результаты и выводы по ним находятся в удовлетворительном соответствии с результатами наблюдений за поведением трубопроводов в реальных условиях. Установлено, что легкие трубопроводы менее подвержены риску выпучивания в сравнении с более массивными, находящимися в тех же грунтовых условиях.

9. Показано, что колебания трубопровода подавляются демпфированием и трубопровод остается в зоне устойчивости, а при дальнейшем росте интенсивности нагрузки наступает момент, при котором он выходит из зоны устойчивости. Определены величины критического времени и критической силы. Выявлено, что конкретные значения каждого параметра их геометрических характеристик трубопровода и коэффициентов взаимодействия, отражающих влияние грунтовых условий, слабо влияют на величину максимального поперечного перемещения, но влияют на величину критического времени и критической силы.

10. Как показали последствия сильных японских землетрясений, необходимо изучать подъем колодцев. Поэтому нами сделана первая попытка исследования НДС трубопроводной системы жизнеобеспечения различного назначения (трубопровод, присоединенный к сложному узлу, в роли которого может выступать колодец), расположенной в водонасыщенных грунтах. Разработаны алгоритм и программа расчета для исследования подъема подземного колодца. Для решения задачи использован приближенный численный метод расчета. Сделан анализ полученных результатов расчета. Показано влияние грунтовых условий на подъем подземных трубопроводов при сильных землетрясениях, даны рекомендации, позволяющие снизить подъем трубопроводов при сейсмических воздействиях.

11. Эти результаты по существу составляют научную новизну проводимых исследований. Их основной идеей является уменьшение возможного повреждения подземных сооружений с целью повышения качества и сейсмобезопасности их проектирования и строительства.

Из анализа последствий сильных землетрясений и проведенных исследований последних лет следует, что даже для стран с высокоразвитой, устойчивой экономикой и благополучной социальной обстановкой сильное землетрясение, произошедшее вблизи густонаселенных районов, где имеются промышленные или энергетические предприятия, вызывают серьезные и многообразные проблемы. Таким образом, расчет подземных сооружений при сейсмических воздействиях следует производить на прочность, устойчивость сооружений и по несущей способности грунтовых оснований, так как оценка систем непрерывного обслуживания систем трубопровода или быстрое восстановление их функциональных возможностей после землетрясения является очень важным и критическим фактором для городских обществ. А для нашей республики, наибольшая территория которой расположена в сейсмически опасной зоне, проблема обеспечения сейсмической безопасности объектов как жилищно-гражданского, так и промышленного назначения имеет первостепенное значение, поскольку ее положительное решение приведет к снижению сейсмического риска для городов и населенных пунктов республики.

Проводимые исследования отражают актуальный вопрос, поднятый на международном уровне. Выполненная работа является первым приближением и открывает перспективу для новых ранее не предусмотренных направлений исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гехман А. С., Зайнетдинов Х. Х. Расчет, конструирование и эксплуатация трубопроводов в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 1988. – 184 с.
- [2] Рашидов Т. Р. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений. Ташкент: Фан, 1973. – 180 с.

- [3] Рашидов Т., Хожметов Г.Х. Сейсмостойкость подземных трубопроводов. Ташкент: Фан, 1985. –152с.
- [4] XIVth World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, 2008.
- [5] XVth World Conference on Earthquake Engineering. Lisboa, 2012.
- [6] Proceeding of International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering. Tokyo, 2009.
- [7] Second European Conference on Earthquake engineering and Seismology. Istanbul, 2014.
- [8] Wakamatsu K., Yoshida N. Ground failures and their effects on structures in Midorigaoka district, Japan during recent successive earthquakes // Proceeding of International conference on performance-based design in earthquake geotechnical engineering: Earthquake geotechnical case histories for performance-based design. Tokyo, 2009. P.159 – 176.
- [9] Yasuda S. Relevant soil investigations and laboratory tests to estimate liquefaction-induced deformation of structures // Proceeding of International conference on performance-based design in earthquake geotechnical engineering: Performance-based design in earthquake geotechnical engineering. Tokyo, 2009. P. 259 – 263.
- [10] Yasuda S., Mayuzumi S., Onose H. Appropriate countermeasures against liquefaction-induced uplift of existing manholes and pipes // Proceeding of International conference on performance-based design in earthquake geotechnical engineering: Performance-based design in earthquake geotechnical engineering. Tokyo, 2009. P. 1127 – 1134.
- [11] Yasuda S., Tanaka T., Kiku H. Uplift of sewage man-holes during 1993 Kushiro-oki EQ., 2003 Tokachi-oki EQ and 2004 Niigataken Chuetsu EQ // Proceeding of International conference on performance-based design in earthquake geotechnical engineering: Earthquake geotechnical case histories for performance-based design. Tokyo, 2009. P. 95 – 108.
- [12] Lanzano G., Santucci de Magistris F., Fabbrocino G., Salzano E. Multidisciplinary approach for the seismic vulnerability evaluation of lifelines and structural components of industrial plants // The 15th World Conference on Earthquake Engineering. Lisbon, 2012.
- [13] Hajime Shinkai. Seismic design guidelines to mitigate upheaval buckling of small diameter pipes // Second European conference on earthquake engineering and seismology. Istanbul, 2014.
- [14] Cubrinovski M., Hughes M., O'Rourke T.D. Impacts of liquefaction on the potable water system of Christchurch in the 2010-2011 Canterbury (NZ) earthquakes // Journal of water supply: research and technology. AQUA. Vol. 63. 2014. P. 95 – 105.
- [15] Айнбиндер А.Б. Расчет магистральных и промышленных трубопроводов на прочность и устойчивость. М.: Недра, 1991. – 287 с.
- [16] Ясин Э.М. Устойчивость подземных трубопроводов. М.: Недра, 1967.–120 с.
- [17] Рашидов Т.Р., Сибукаев Ш.М. Расчетная модель поперечных колебаний трубопровода, расположенного в водонасыщенном грунте, под действием сейсмической волны // Узбекский журнал «Проблемы механики». Ташкент, 2003. № 4. С. 7 – 12.
- [18] Рашидов Т.Р., Сибукаев Ш.М. Реологическая модель взаимодействия трубопровода с водонасыщенным грунтом (при продольных и крутильных волновых движениях) // Узбекский журнал «Проблемы механики». Ташкент, 2008. № 2 – 3. С. 15 – 23.
- [19] Рашидов Т.Р., Сибукаев Ш.М. Реологическая модель взаимодействия трубопровода с водонасыщенным грунтом (при поперечных движениях) // Узбекский журнал «Проблемы механики». Ташкент, 2009. № 1. С. 32 – 36.
- [20] Ан Е.В. Динамическая устойчивость трубопроводов, расположенных в водонасыщенных грунтах: Автореф. дис. ... докт. филос. физ.-мат. наук. Ташкент, 2018. – 50 с.

Институт механики и сейсмостойкости сооружений
им. М.Т. Уразбаева АН РУз

Дата поступления
26.12.2018

Т.Р. Рашидов, Е.В. Ан. Кучли зилзилаларда ер ости кувурларининг бузилишига грунтнинг куйқаланишини таъсири

Ватанимиздаги ва хорижий материаллар бўйича, ҳаётни таъминловчи тизимларнинг ер ости кувурларига кучли зилзилалар оқибатларининг таълили берилди. Зилзилаларда грунтнинг куйқаланиши ҳолати келтирилди ва уларни ҳаётни таъминловчи тизимларни зарарланишига таъсири этиши таъкидлаб ўтилди.

T.R. Rashidov, E.V. An. Effect of soil liquefaction on damage to underground pipelines during strong earthquakes

An overview is given on the effects of strong earthquakes on underground pipeline livelihood systems for domestic and foreign materials. Cases of soil liquefaction during earthquakes are given and their effect on the destruction of life support systems is noted.

ВЫБОР КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШИРОКОЗАХВАТНЫХ КОМБИНИРУЮЩИХ АГРЕГАТОВ С УНИВЕРСАЛЬНОЙ РАМОЙ

При разработке компоновочных схем широкозахватных сельскохозяйственных машин со складывающимися рамами использовались опыт всех стран мира, выпускающих сельхозмашины до настоящего времени, материалы научных исследований и конструкторские работы. Например, опыт Кировоградского ПКИ, НПО «ВИСХОМ», проектного института Беларуси, Татарского научно-исследовательского института сельского хозяйства, технические решения сеялки 1700, 7000, MAX EMERGE фирмы Джон Дир [1], культиваторов серии RM, сеялки «MONOSED», сеялки «Monosem» (Франция), СПЧ (Румыния), а также изготовленные и прошедшие испытания в БМКБ «Агромаш» [2].

Проведенный анализ по данному направлению показал, что большинство сельхозмашин одного предназначения созданы на 3-х разных рамах: цельнобрусной, складывающейся и телескопической. Кроме того, результаты анализа показывают сложность создания широкозахватных сельскохозяйственных машин для разных междурядий (60, 70 и 90 см) на базе одной универсальной рамы. В наших случаях для разработки вариантов компоновочных схем (сеялки, мотыги, культиватора) использовались, в основном, компьютерные технологии (КОМПАС 3D V-12 трехмерный модельный принцип).

На рис.1 приведены различные варианты компоновочных схем. При этом для выбора оптимальной схемы взята наиболее сложная машина – культиватор-растениепитатель.

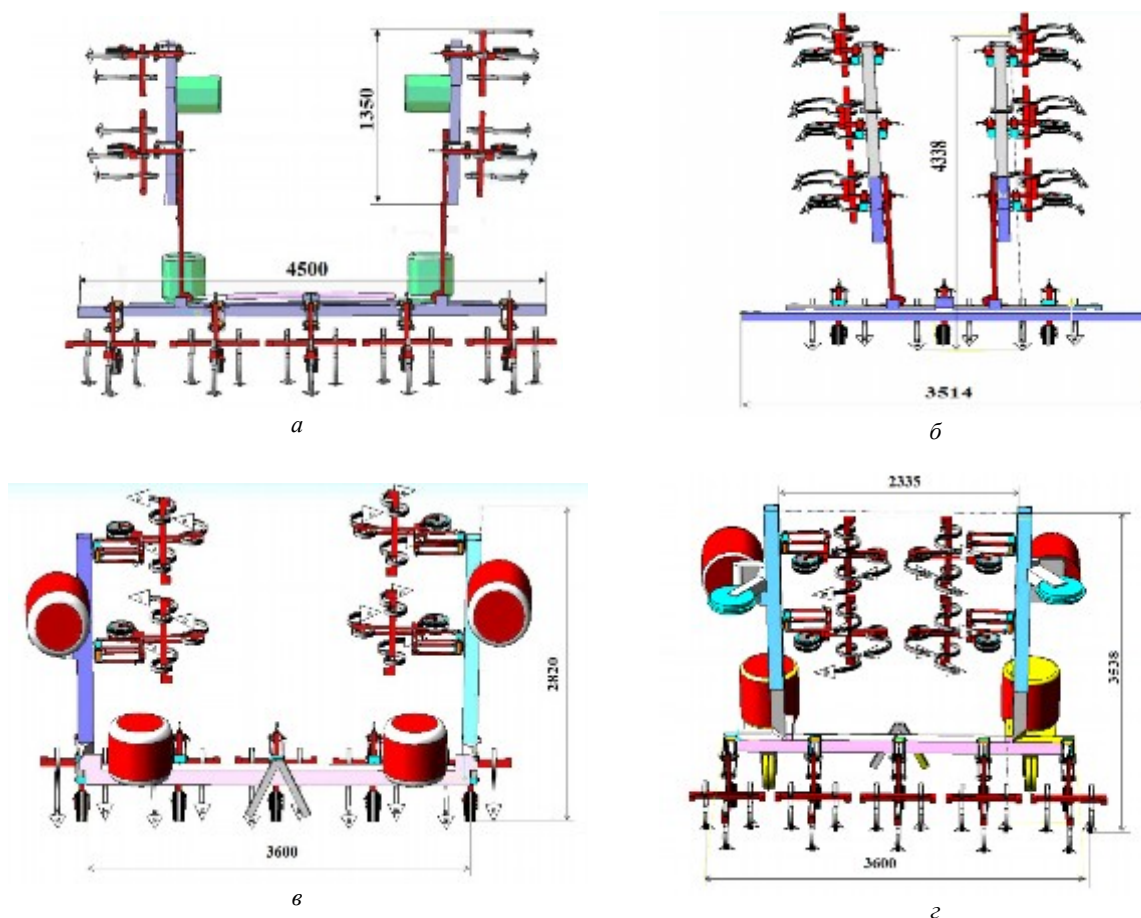


Рис. 1. Принципиальные компоновочные схемы 8-рядного широкозахватного культиватора-растениепитателя:
а, б – вид сзади; в, г – вид спереди

На рис.2 приведены более детальные проработки схемы (см. рис. 1) с шарнирами боковых крыльев, смещенными к центру и расположенными под углом.

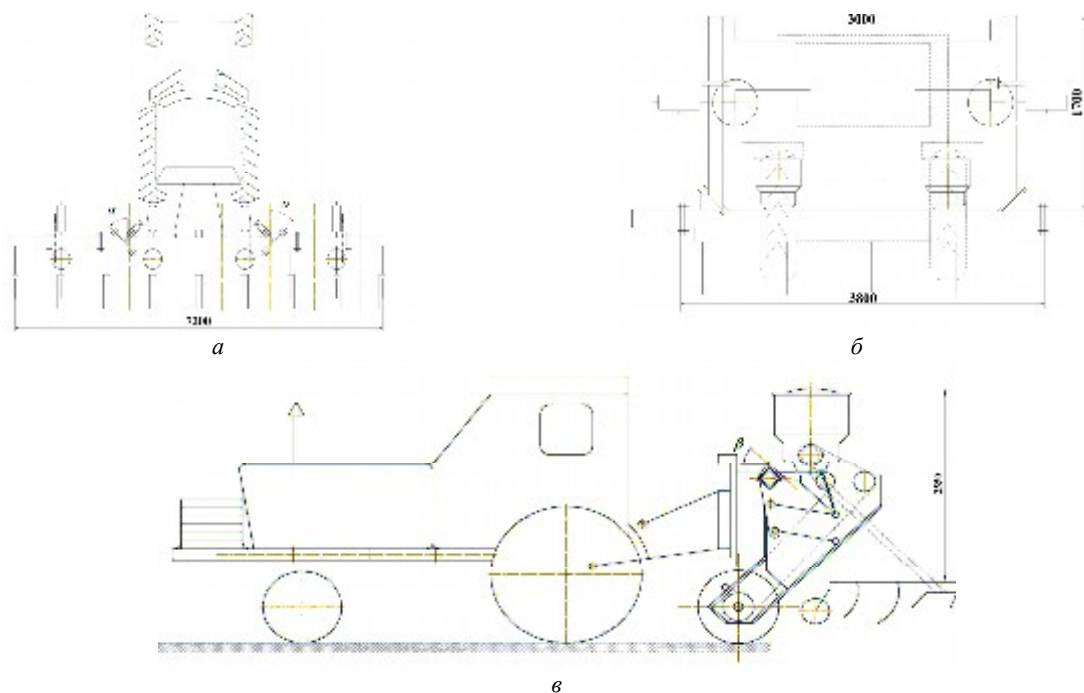


Рис. 2. Компонентные схемы предлагаемого 8-рядного культиватора-растениепитателя:
а – вид сверху; б – вид сзади; в – вид сбоку

Данную схему можно считать перспективной для создания современных 8-рядных культиваторов, сеялки и мотыги.

При проектировании сельскохозяйственных машин необходимо учесть цели выполняемых технологических процессов, так как междурядная обработка посевов хлопчатника проводится с целью уничтожения сорняков, рыхления почвы как в защитных зонах, так и в междурядьях, поддержания верхнего слоя почвы в рыхлом и мелкокомковатом состоянии. В период вегетации растений проводят от четырех до шести междурядных обработок. Запоздывание с проведением первой обработки ведет к быстрому развитию сорняков, задержке цветения и созревания растений и, в конечном итоге, к снижению урожая.

Во избежание повреждения растений рабочие органы культиваторов размещают на требуемом расстоянии от ряда. Поэтому после прохождения культиватора с обеих сторон ряда остается необработанная полоса – защитная зона. Ширина защитной зоны зависит от вида культуры, сорта, степени развития, глубины рыхления почвы, качества полива (прямолинейность рядков), величины горизонтальных отклонений рабочих органов культиватора в перпендикулярном к направлению движения и видов орудий, которыми проводят междурядную обработку. Чем шире полоса, тем меньше площади остается на долю ручной обработки.

Обоснованием рациональной величины защитной зоны междурядной обработки хлопчатника занимались Ш.М. Курбанов, В.А. Сергиенко [3]. Многие исследователи доказали, что при использовании ротационного рабочего органа культиватора происходит уменьшение защитной зоны по сравнению с традиционными пассивными рабочими органами [4 – 8]. При обработке стандартными рыхлительными рабочими органами их устанавливают на глубину 14–15 см, а при прополке сорняков – на 6 – 10 см;

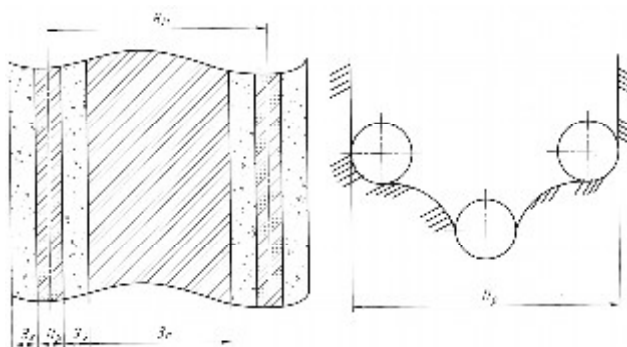


Рис. 3. Схема междурядной обработки в ряду

защитная зона и в том, и в другом случае составляет 15 – 20 см.

В существующих сошниках хлопковых сеялок семена распределяются по бороздкам, имеющим некоторую ширину b , в связи с чем всходы располагаются в пределах полосы разбросов P_p (рис. 3). Полоса разброса P_p зависит от ширины бороздки b , образуемой сошником, степени разброса семян при падении их в бороздку и устойчивости хода сошника в поперечной плоскости.

Все эти факторы обусловлены применяемой технологией заделки семян и конструкцией рабочих органов, т.е. сошников. В результате вышеотмеченных недостатков получаемая средняя линия рядков непрямолинейна, а ширина полосы разброса непостоянна. Кроме того, если учесть, что при движении рабочих органов культиваторов происходит деформация почвы, влияющая на величину защитной зоны, то можно утверждать, что крайние рабочие органы культиватора никогда не смогут точно следовать по границе полосы разброса.

Поэтому при междурядной обработке посевов хлопчатника, с целью сохранения растений, по обеим сторонам рядка оставляют защитные зоны Z_3 и крайние границы хода рабочих органов культиватора устанавливаются по периферии этой линии. Следовательно, фактическая зона обработки

$$Z_o = B_m - (P_p + 2 \cdot Z_3), \quad (1)$$

а уровень механизации

$$Y_m = \frac{100 \cdot (B_m - P_p - 2 \cdot Z_3)}{B_m}. \quad (2)$$

Если учесть, что ширина междурядий B_m является фиксированной величиной (60 или 90 см) и не зависит от типа рабочих органов, то из уравнения (2) видно, что уровень механизации зависит только от фактической зоны обработки Z_o , которая, в свою очередь, определяется величиной полосы разброса P_p и защитной зоной Z_3 .

Из этого следует, что увеличение уровня механизации Y_m зависит от более точного и прямолинейного движения сеялки и культиватора, а также от конструкции крепления их рабочих органов. Но главное состоит в том, что применение такой технологии заделки семян и конструкции сошника обеспечивает минимальный размер полосы растений в рядке сельскохозяйственных культур.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Проспект фирмы Джон-Дир, Max Emerge, Plus Planters.
- [2] Протокол № 4-2002 (120) Государственных приемочных испытаний культиватора-удобрителя широкозахватного (8x90 см) КО 7,2. Гульбахор, 2002.
- [3] Сергиенко В. А., Курбанов Ш. М. Обработка посевов минимальными зонами // Хлопководство. 1972. № 6.
- [4] Аббасов И. А. Исследование рабочих органов и обоснование параметров ротационного культиватора в условиях тяжелых поливных почв. Азербайджан. Ереван, 1969.
- [5] Абдурахманов Р. К. Разработка и обоснование параметров комбинированного рабочего органа пропашного культиватора: Дис. ... канд. техн. наук. Казань, 1984.
- [6] Набиев Т. С. Проблемы уменьшения ширины размещения растений в рядке // Механизация хлопководства. Ташкент. 1989. № 5.
- [7] Никитаев С. А. Пассивные и активные органы на обработке междурядной сахарной свеклы // Труды ВНИИСС. Вып. 4. 1974. Т.5. С. 52 – 61.
- [8] Хаданович В. В. Обоснование параметров и режимов работы бесприводного ротационного рабочего органа для междурядной обработки капусты: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 1989.

Институт механики и сейсмостойкости сооружений
им. М.Т. Уразбаева АН РУз

Дата поступления
28.12.2018

Р.Р. Худайкулиев, Н.Б. Джураева, З.Т. Холматова. Рамаси универсал бўлган кенг қамровли комбинацияланувчи агрегатлар жамланмасига схема танлаш ва лоиҳалаш

Мақолада универсал рама билан жихозланган кенг қамровли, сеялка, культиватор ва юмишатгич каби агрегатларни яратишида зарур бўладиган замонавий схема танлаб олинган бўлиб, ундан уруғларни аниқ экиш, бегона ўтларни йўқотиш, тупроқнинг ҳимоя қатлами ва қатор ораларини юмишатиш ҳамда тупроқнинг юқори қатламини майин холга келтирадиган қишлоқ хўжалик машиналарини лоиҳалашда файдоланилади.

R.R. Khudaykuliev, N.B. Djuraeva, Z.T. Kholmatova. The choice of layout schemes and design of the shirokozakhvatny combining units with a universal frame

In article the perspective scheme for creation of shirokozakhvatny seeders, cultivators and mattocks on the basis of a universal frame, necessary is provided at design of farm vehicles for the purpose of exact crops of seeds, destructions of weeds, loosening of the soil, both in protective zones, and in row-spacings, maintenance of a top soil in a friable and melkokomkovaty state.

УДК 624.21.095.322(04)

Х.А. БАЙБУЛАТОВ, М.Ж. БЕРДИБАЕВ

ДЕФЕКТЫ И ПОВРЕЖДЕНИЯ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА МОСТОВ

Мостовые сооружения, являясь одним из видов строительной продукции, обладают специфическими потребительскими свойствами, которые определяют их назначение и качество. Со временем эксплуатируемые мосты в большей или меньшей степени утрачивают свои потребительские свойства вследствие морального и физического износа, т.е. происходит неизбежный процесс их старения. Физический износ мостов связан с дефектами конструкций, полученными при изготовлении, транспортировке и монтаже, а также повреждениями в процессе эксплуатации. И те и другие в той или иной степени могут быть причиной снижения уровня их потребительских свойств. Рассмотрим виды дефектов и повреждений и их влияние на потребительские свойства.

Дефекты и повреждения железобетонных мостов встречаются намного чаще, чем у металлических, что связано с особенностями железобетона как материала. Структура этого материала неустойчива к внешним воздействиям и капризна по отношению даже к мелким отклонениям от предписанной технологии производства. Работа его под воздействием нагрузок отличается значительной сложностью и нелинейностью; он больше подвержен влиянию климатических факторов.

Дефекты и повреждения можно подразделить на характерные группы по виду и происхождению. По виду выделим наиболее распространенные группы дефектов и повреждений.

В железобетонных конструкциях:

- недостаточная толщина защитного слоя;
- трещины в бетоне;
- сколы бетона;
- поверхностный износ конструкций;
- нарушение структуры бетона (расслоение, шелушение, выкрашивание);
- повреждения арматуры [1].

В железобетонных конструкциях мостов могут иметь место следующие дефекты и повреждения, возникающие на стадиях изготовления, транспортирования и монтажа:

- технологические трещины: усадочные, образующиеся в незатвердевшем бетоне вследствие усадочных деформаций бетона при плохом уходе за его поверхностью, а также осадочные, возникающие вследствие неравномерной осадки бетонной смеси при ее уплотнении или при деформации опалубки; эти трещины имеют рваные края, резко изменяющиеся по длине раскрытия;

- температурно-усадочные повреждения, возникающие в затвердевшем бетоне вследствие плохой тепловлажностной его обработки и обычно проявляющиеся в виде трещин с раскрытием до 0.2 мм;

- дефекты бетонирования: раковины и каверны; места с вытекшим цементным раствором; обнажение арматуры или недостаточная толщина защитного слоя;

- другие повреждения: сколы бетона, силовые трещины из-за непредвиденных воздействий (возникают обычно в слабоармированных местах).

При действии на железобетонные конструкции нагрузок и воздействий могут возникать следующие виды трещин:

- силовые трещины в бетоне: поперечные в растянутых элементах и растянутых зонах изгибаемых элементов, продольные в сжатых элементах и в сжатых зонах изгибаемых элементов, косые (наклонные) в стенках балок;

- трещины от местного действия нагрузки в зонах установки анкеров напрягаемой арматуры, в местах опираний и в других подобных местах. Образование и раскрытие этих трещин ограничиваются расчетами по трещиностойкости, а в сжатой зоне бетона – также расчетами и по прочности;

температурно-усадочные трещины, возникающие в результате неравномерных по сечению деформаций от действия температуры окружающего воздуха и усадки бетона. Эти явления могут самостоятельно приводить к образованию сетки поверхностных трещин или, суммируясь с напряжениями от нагрузки, усугублять образование силовых трещин. Развитие последних в этом случае (например, в стенках балок) может происходить в течение 5 – 7 лет;

продольные трещины вдоль арматуры, возникающие из-за стесненной арматурой усадки бетона, замерзания сырого инъекционного раствора в каналах или из-за коррозии арматуры в бетоне. Эти факторы могут ускорять появление продольных трещин от обжатия бетона.

Причинами развития коррозии арматуры могут быть недостаточная толщина защитного слоя бетона, низкая плотность бетона защитного слоя и как следствие – потеря бетоном пассивирующих свойств (например, в результате карбонизации), особенно опасная в условиях агрессивного воздействия среды (чаще всего хлористых солей).

Величины раскрытия трещин в этих случаях равны примерно двойной толщине продуктов коррозии (ржавчины) на арматурном стержне или пучках стержней. В свою очередь толщина продуктов коррозии превышает толщину прородированного металла в 2.5 – 3 раза.

В конструкциях могут возникнуть коррозионные повреждения, связанные с попеременным замерзанием и оттаиванием бетона во влажной среде (размораживание). Такие повреждения проявляются в виде растрескивания поверхности бетона, разрыхления и последующего разрушения наружных слоев.

В случае попадания воды во внутренние полости и каверны могут наблюдаться сколы бетона, вызванные расширением замерзающей воды.

В конструкциях из-за неисправностей водоотвода и гидроизоляции наблюдаются протечки воды, сопровождающиеся высолами, т.е. появлением продуктов выщелачивания бетона на поверхностях элементов. Это явление связано с выносом водой растворимых в ней солей (выщелачивание). Могут наблюдаться также высолы, образовавшиеся на стадии строительства до укладки гидроизоляции, омоноличивания стыков и заделки различных технологических отверстий.

В клееных стыках составных по длине конструкций могут иметь место следующие дефекты:

- наличие щелей в стыке, вызванных отсутствием клея на части площади стыка, что может приводить к появлению трещин в бетоне вблизи стыка из-за концентрации напряжений;
- пластичная консистенция клея или его неоднородность, вызванная плохим перемешиванием составляющих, что может снизить сопротивление стыка сдвигу

Существенным дефектом изготовления является использование бетона более низкого класса по сравнению с указанным в проекте (рис. 1). Эта ошибка практически не сказывается на величине предельного изгибающего момента, которая определяет несущую способность на поперечную силу. В этих расчетах расчетное сопротивление бетона на срез следует принимать по фактическому классу бетона.



Рис. 1. Дефекты швов омоноличивания балок пролетного строения, возникшие по причине низкого качества использованной бетонной смеси



Рис. 2. Выпадение бетона защитного слоя П-образных плит пролетного строения по причине низкого качества бетонирования

При изготовлении железобетонных конструкций, к сожалению, довольно часто имеет место низкое качество бетонирования (рис. 2).

Так, при «недовибрировании» бетонной смеси образуются раковины и каверны. Кроме того, из-за неровности, недостаточной очищенности, а также неплотности стыков опалубки возникает «щебенистость» поверхности бетона или полости в теле конструкции, связанные с утечкой растворной части бетонной смеси через стыки опалубки.

Серьезной угрозой для бетона являются протечки воды и сопутствующие им высолы (выщелачивание). В первую очередь это связано с увлажнением конструкций в местах выхода воды и опасностью возникновения в этих зонах коррозионных процессов в арматуре и бетоне.

Протечки воды сопровождаются выносом из бетона растворенной извести, с образованием солевых потеков и сталактитов. Бывает, что объемы выносов достигают нескольких килограммов, а это значит, что внутри конструкций образуются пустоты, неплотности, приводящие к ослаблению сечения и разрушению бетона. Чаще всего протечки происходят через места явного нарушения целостности конструкций – трещины, стыки элементов. Способы борьбы с этими явлениями, казалось бы, очевидны – качественные водоотвод и гидроизоляция. Однако именно эти элементы чаще всего выполняются небрежно при строительстве и не поддерживаются в период эксплуатации.

Как известно, железобетон представляет собой композит, состоящий из двух различных по свойствам материалов, – стали, которая имеет изотропную структуру, и бетона – анизотропного материала с очень небольшой прочностью на растяжение.

В железобетоне удачно сочетаются высокая прочность бетона на сжатие и арматуры – на растяжение. Кроме того, он позволяет создавать конструкции разных архитектурных форм.

Возникающие в железобетоне трещины обусловлены особенностями его структуры. Одна из его составляющих, как отмечалось, – бетон обладает повышенной хрупкостью и малыми пределами растяжимости при работе на растяжение – 0.0001 и при работе на растяжение с изгибом – 0.00015. Поэтому образование трещин в обычном железобетоне в определенных ограниченных пределах является естественным и допустимым явлением, и их не следует бояться. Важно только, чтобы этот процесс не принимал чрезмерные и опасные размеры.

Трещины в железобетоне могут быть самого разного происхождения, ориентации, протяженности, раскрытия, степени опасности (рис. 3).

Мостовое сооружение по результатам технического диагностирования относят к одной из шести возможных категорий технического состояния [2].

К категории "отличное техническое состояние" относят мостовые сооружения, соответствующие всем требованиям нормативной и конструкторской (проектной) документации, с учетом перспективы развития транспортных средств и дорожной сети.

К категории "хорошее техническое состояние" относят мостовые сооружения, у которых все основные конструкции имеют исправное состояние, при этом значение одного или нескольких параметров технического состояния мостового сооружения могут не в полной мере соответствовать установленным действующими нормативными документами, но в конкретных условиях эксплуатации не нарушаются основные функциональные свойства мостового сооружения.

К категории "удовлетворительное техническое состояние" относят мостовые сооружения, основные функциональные свойства которых частично нарушены, но при этом все основные конструкции находятся в работоспособном состоянии, обеспечивается безопасный пропуск всех обращающихся автомобилей со скоростями не ниже уровня, установленного экономическими соображениями, и возможные затруднения движения автотранспорта носят только кратковременный характер. Ремонтные мероприятия для сооружений, имеющих удовлетворительное техническое состояние, организуют в плановом порядке.



Рис. 3. Силовые трещины в насадке промежуточной опоры моста

К категории "неудовлетворительное техническое состояние" относят мостовые сооружения, имеющие в основных конструкциях значительные дефекты по грузоподъемности, по безопасности и долговечности. Мостовое сооружение с неудовлетворительной оценкой технического состояния способно только частично выполнять требуемые функции, нормальная эксплуатация нарушена, но при этом критический отказ, в результате которого одна или несколько основных конструкций может перейти в предельное состояние первой группы и вызвать аварию, в настоящее время маловероятен. Безопасность эксплуатации для сооружений с данной оценкой технического состояния может быть обеспечена регулированием движения дорожными знаками. Введение ограничений движения нарушает их нормальную эксплуатацию.

Сооружениям с неудовлетворительной оценкой технического состояния в первоочередном порядке необходим ремонт, капитальный ремонт или реконструкция.

К категории "непригодное для нормальной эксплуатации (или предаварийное) техническое состояние" относят мостовые сооружения, имеющие непригодное для нормальной эксплуатации состояние, или имеющие предаварийное состояние, при котором в случае продолжения неблагоприятных воздействий может произойти авария. К этой категории относят и такие сооружения, по которым безопасный пропуск автомобилей не может быть гарантирован введением различных ограничений движения путем установки дорожных знаков, требуется принудительное регулирование режима эксплуатации, например, запрещением движения по полосам, введением реверсивного движения и др. Мостовые сооружения, отнесенные к данной категории, требуют срочных восстановительных ремонтных мероприятий.

Данную категорию технического состояния назначают мостовым сооружениям, имеющим в основных конструкциях, как правило, опасные дефекты по грузоподъемности, безопасности, долговечности.

Для сооружений в предаварийном состоянии может быть установлен специальный режим контрольных мероприятий вплоть до проведения ежедневного осмотра.

К категории "аварийное техническое состояние" относят мостовые сооружения, имеющие признаки аварийного состояния, свидетельствующие о возможности потери устойчивости, разрушения или обрушения конструкций, или части конструкции, или у которых уже установлен факт наступления предельного состояния первой группы. Аварийное техническое состояние назначают мостовым сооружениям, имеющим в основных несущих конструкциях критические дефекты, исключающие дальнейшую эксплуатацию мостового сооружения до их устранения. При выявлении аварийного состояния мостового сооружения требуется незамедлительное закрытие движения.

Таким образом, по результатам натурных исследований выявляются недостатки конструкций, определяются фактические уровни потребительских свойств и, в конечном итоге, выводятся оценка технического состояния моста и рекомендации по его эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Васильев А. И. Оценка технического состояния мостовых сооружений. М., 2017.
[2] ИҚН_125-17. Автомобиль йўлларидаги кўприк иншоотларининг техник ҳолатини баҳолаш ва муддатли кузатувлар ўтказиш бўйича йўриқнома. Тошкент, 2017.

Институт механики и сейсмостойкости сооружений
им. М.Т. Уразбаева АН РУз

Дата поступления
26.12.2018

Х.А. Байбулатов, М.Ж. Бердибаев. Кўприк конструкцияларини нуқсонлари, бузилишлари ва уларнинг кўприкнинг эксплуатацион хоссаларига таъсири

Мақолада кўприклар конструкцияларини қурилиши ва эксплуатация жараёнида пайдо бўлган нуқсонлар ва шикастланишлар билан боғлиқ физик эскириши келтирилган. Кўприк конструкцияларини турли кўринишдаги нуқсонлари, бузилишлари ва уларнинг кўприкларнинг эксплуатацион хоссаларига таъсири ўрганилган.

H.A. Baybulatov, M.J. Berdibaev. Defects and damage to bridge structures and their influence on consumer properties of bridges

The article presents the physical wear of bridges associated with defects and damage to structures obtained during construction and maintenance. Various types of defects and damage to bridge structures and their influence on consumer properties of bridges were studied.

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЁТА ВОЛНОВОГО УНОСА ЭНЕРГИИ В ЗАДАЧАХ РАСЧЁТА ПОДЗЕМНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

В статье представлен анализ динамического отклика подземной магистральной трубы при действии волны в грунте в виде импульса деформации. Предполагается, что упругая труба имеет конечную длину и рассматривается вязкоупругая модель взаимодействия системы «труба – грунт», уравнение движения которой приведено в [1, 2].

Нестационарные задачи решаются методом конечных разностей с выбором шагов по координате и времени по условию устойчивости Куранта в предельном случае для предотвращения нежелательных колебаний вблизи разрыва фронта волны деформации [3 – 5].

Рассмотрим трубу длиной L , уравнение движения которой имеет вид

$$m \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - E \cdot F \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \pi \cdot D \cdot \tau = 0, \quad (1)$$

где x и t – пространственная и временная переменные; u – осевые смещения трубы; m – масса на единицу длины; E – модуль Юнга материала трубы; $F = \pi \cdot (D^2 - (D-s)^2)/4$ – площадь поперечного сечения трубы, где s и D – толщина и внешний диаметр трубы соответственно.

Для описания свойств вязкоупругого взаимодействия обычно используется наследственная теория [2, 6]

$$\tau = \int_0^t R(t-\tau) du(\tau). \quad (2)$$

Здесь $R(t)$ – ядро релаксации. $R(t)$ определяется по известным кривым релаксации напряжения, которые можно получить в результате проведения опытов.

В работах [2, 6] предполагалось, что вязкий член в модели взаимодействия подземной конструкции и грунта отвечает потере энергии в колебательном процессе. Однако, если вместо модели Больцмана – Вольтерра (2) взять модель Кельвина – Фойгта, тогда член с разностью скоростей перемещений трубы и грунта при продольном взаимодействии отвечает за волновой унос (накачку) энергии [7]. В этой связи зависимость между касательным напряжением трубы и грунтом запишем в виде [2]

$$\tau = \frac{\mu}{H} \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial u_0}{\partial t} \right) + k_x \cdot (u - u_0), \quad (3)$$

где k_x – коэффициент упругого взаимодействия в системе «труба – грунт»; u_0 – осевые смещения грунта; μ – коэффициент вязкого взаимодействия в системе «труба – грунт».

Дифференциальное уравнение в деформациях даёт более точный результат при численном решении. Возьмём производную по координате из уравнения (1), и получим следующее:

$$m \cdot \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial t^2} - E \cdot F \cdot \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x^2} + M \cdot \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} - \frac{\partial \varepsilon_0}{\partial t} \right) + K \cdot (\varepsilon - \varepsilon_0) = 0, \quad (4)$$

где $M = \frac{\pi \cdot D \cdot \mu}{H}$, $K = \pi \cdot D \cdot k_x$.

Движение грунта возьмём в виде импульса в форме полуволны синуса

$$u_0 = \begin{cases} A \cdot \sin \omega \left(t - \frac{x}{C_p} \right), & 0 \leq t - \frac{x}{C_p} \leq \frac{T}{2}, \\ 0, & \frac{T}{2} < t - \frac{x}{C_p} \text{ и } t - \frac{x}{C_p} < 0, \end{cases} \quad (5)$$

где A – амплитуда движения грунта; ω – частота колебаний сейсмической волны, определяемая по формуле: $\omega=2\pi/T$; C_p – кажущаяся скорость распространения сейсмической волны [1,2].

Движение грунта также запишем в деформациях

$$\varepsilon_0 = \begin{cases} -\frac{A}{C_p} \cdot \cos \omega \left(t - \frac{x}{C_p} \right), & 0 \leq t - \frac{x}{C_p} \leq \frac{T}{2}; \\ 0, & \frac{T}{2} < t - \frac{x}{C_p} \text{ и } t - \frac{x}{C_p} < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Начальные условия

$$\varepsilon|_{t=0} = 0 \text{ и } \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}|_{t=0} = 0. \quad (7)$$

Рассмотрим случай граничных условий в следующем виде, т.е. оба торца трубопровода испытывают деформации, равные деформациям грунта в этих точках:

$$\varepsilon|_{x=0} = \varepsilon_0|_{x=0}; \varepsilon|_{x=L} = \varepsilon_0|_{x=L}. \quad (8)$$

Рассмотрим стальную трубу, характеристики которой показаны в табл. 1. Характеристики грунта приведены в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики стальной трубы

Диаметр D , м	Толщина s , м	Модуль Юнга E , 10^8 , кН/м^2	Длина L , м	Плотность ρ , кг/м^3
0.61	0.01	2.1	1000.0	7800.0

Таблица 2

Характеристики грунта

Упругое сопротивление грунта при сдвиге $k_x, 10^7 \text{ Н/м}^3$	Вязкое сопротивление грунта при сдвиге $\mu, \text{кН} \cdot \text{с/м}^2$	Кажущаяся скорость распространения волны C_p , м/с	Время действия импульса $T/2$, с	Амплитуда импульса A , м	Глубина заложения трубопровода H , м
0.5-4	0-100	2500.0	0.1	0.004	1.0

Значение коэффициента вязкого взаимодействия в работе [8] изменяется в пределах $0 - 300 \text{ кН} \cdot \text{с/м}^2$, а в работе [9] – в пределах $0 - 10 \text{ кН} \cdot \text{с/м}^2$.

Для решения задачи используется явная конечно-разностная схема с выбором соотношения шагов по координате и времени в виде $\Delta x/\Delta t = a$, где $a = \sqrt{EF/m}$ – скорость распространения волны в трубопроводе [3, 4]. Расчёты проводились при $\Delta x = 0.1 \text{ м}$.

Волна в грунте представлена в виде импульса в форме полуволны синуса (5), тогда скорость частиц грунта в волне будет меняться по косинусу (6). Поэтому на фронте волны перемещение грунта равно нулю, а скорость частиц имеет скачок. Реальные записи сильных землетрясений перемещения, скорости и ускорения частиц грунта на фронте волны не имеют разрывов [10]. Это является недостатком представления волны в грунте в виде синуса, импульсов синуса, треугольника и др. Для получения результатов ближе к реальности было бы разумно пользоваться реальными записями землетрясений.

Скорость распространения волны в стальном трубопроводе равна 5120 м/с , а в грунте эта скорость зависит от типа грунта и угла атаки волны. Допустим, волна в грунте движется с кажущейся скоростью 2500 м/с .

На рис. 1 показано изменение деформации по координате в момент времени $t=0.18 \text{ с}$ для трубопровода и для грунта. Как видно, в подземном трубопроводе распространяются два фронта волны, это связано с передним и задним фронтами импульса. Установлено, что из-за наложения волны, распространяющейся в трубе, и дополнительной передачи энергии из волны в грунте тру-

бюпроводу максимальная деформация в трубопроводе увеличивается приблизительно в два раза по сравнению с деформацией грунта. Такое явление было приведено в [2] в случае «сверхзвукового» действия стационарной волны в грунте на трубопровод при модели взаимодействия по упругому закону.

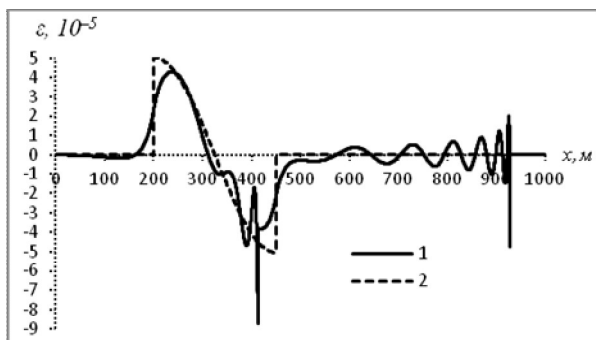


Рис. 1. Изменение деформации по координате при $\mu=0$: 1 – в трубопроводе при $k_x = 0.5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^3$; 2 – в грунте

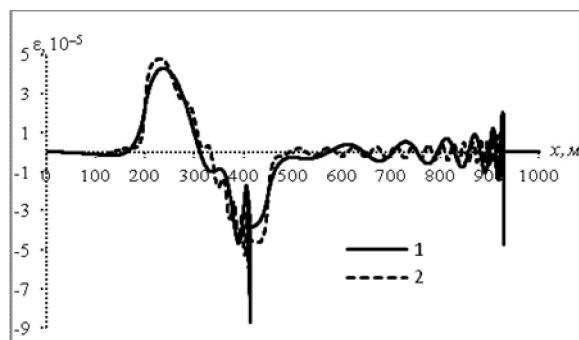


Рис. 2. Изменение деформации по координате при $\mu=0$: 1 – в трубопроводе при $k_x = 0.5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^3$; 2 – $k_x = 4 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^3$

На рис. 2 показано изменение деформации подземного трубопровода в момент времени $t=0.18 \text{ с}$ для значений $k_x = 0.5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^3$ и $k_x = 4 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^3$. Непосредственно за фронтом волны в трубопроводе грунт сопротивляется так, что деформация на определенном расстоянии за фронтом меняет знак и постепенно, по мере удаления от фронта волны, колебания деформации затухают. Вместе с тем, волна в грунте действует через боковую поверхность трубопровода и возбуждает в нем волну.

Здесь с увеличением значения упругого сопротивления грунта частота колебания за фронтом увеличивается.

На рис. 3 показан график изменения деформации подземного трубопровода по координате в момент времени $t=0.18 \text{ с}$ при следующих значениях коэффициента вязкого взаимодействия, который отвечает, в частности, за излучение волны в окружающую среду, $\mu=0$; 2; 4 ($\text{кН} \cdot \text{с/м}^2$). Как видно, с увеличением коэффициента вязкого взаимодействия амплитуда волны в трубопроводе в зоне перед фронтом волны в грунте сильно затухает с расстоянием.

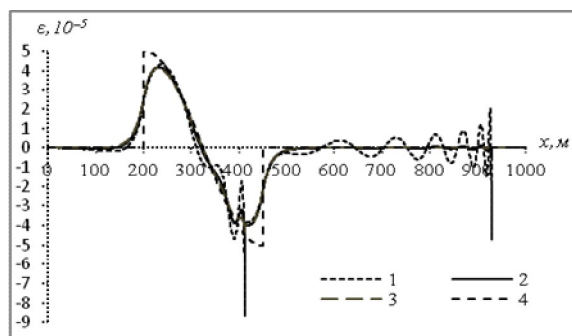


Рис. 3. Изменение деформации по координате при $k_x = 0.5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^3$: 1 – в трубопроводе при $\mu=0 \text{ Н} \cdot \text{с/м}^2$; 2 – $\mu=2 \text{ кН} \cdot \text{с/м}^2$; 3 – $\mu=4 \text{ кН} \cdot \text{с/м}^2$; 4 – деформация грунта

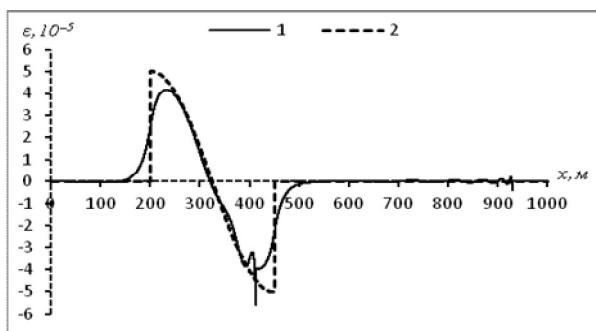


Рис. 4. Изменение деформации по координате при $k_x = 0.5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^3$: 1 – в трубопроводе при $\mu=2 \text{ кН} \cdot \text{с/м}^2$; 2 – деформация грунта

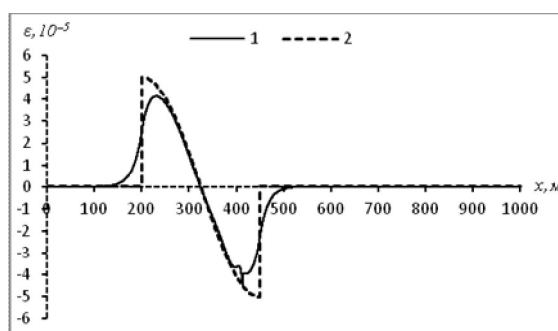


Рис. 5. Изменение деформации по координате при $k_x = 0.5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^3$: 1 – в трубопроводе при $\mu=4 \text{ кН} \cdot \text{с/м}^2$; 2 – деформация грунта

Для наглядности картины на рис. 4 и 5 приведены сравнения деформаций в трубопроводе и грунте для двух значений μ в отдельности. Установлено, что при значении $\mu \geq 4 \text{ кН} \cdot \text{с/м}^2$ максимальная деформация в трубопроводе не будет превышать максимальную деформацию грунта.

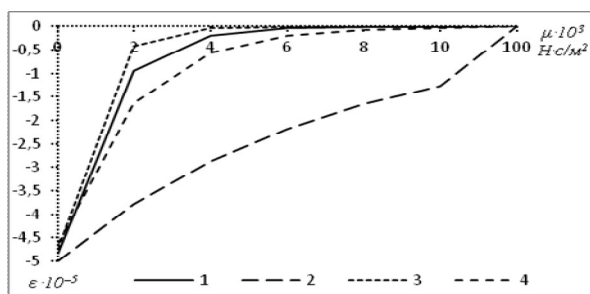


Рис. 6. Изменение максимальной деформации на фронтах волны при изменении коэффициента вязкого сопротивления грунта:
 1 – переднего фронта волны в момент времени $t = 0.12$ с;
 2 – заднего фронта волны в момент времени $t = 0.12$ с;
 3 – переднего фронта волны в момент времени $t = 0.18$ с;
 4 – заднего фронта волны в момент времени $t = 0.18$ с ($k_x = 0.5 \cdot 10^7$ Н/м³)

С увеличением значения упругого сопротивления грунта частота колебания за фронтом волны в трубопроводе увеличивается.

С увеличением коэффициента вязкого взаимодействия амплитуда волны в трубопроводе, в зоне перед фронтом волны в грунте, сильно затухает с расстоянием. Так как этот коэффициент отвечает за волновой обмен энергией между грунтом и трубопроводом, игнорирование его в проводимых расчётах приводит к значительным ошибкам.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Virginia Corrado, Bernardino D'Acunto, Nicola Fontana, Maurizio Giugni. Inertial Effects on Finite Length Pipe Seismic Response. MPE. 2012. P. 14.
- [2] Рашидов Т. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений. Ташкент: Фан, 1973. – 180 с.
- [3] Мирзаев И. Передача импульса в системе неидеально-упругих стержней: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 1975. – 13 с.
- [4] Никифоровский В. С., Шемякин Е. И. Динамическое разрушение твердых тел. Новосибирск: Наука, 1979. – 272 с.
- [5] Мирзаев И., Хусаинов Р. Б. Численное исследование формирования продольной волны деформации в подземном магистральном трубопроводе // Ўзбекитонда геотехника муаммолари ва уларнинг замонавий ечимлари, Республика илмий-амалий анжумани материаллари. 16 – 17 апрел 2018. 235 – 240 б.
- [6] Рашидов Т. Р., Хожметов Г. Х. Сейсмостойкость подземных трубопроводов. Ташкент: Фан, 1985. – 150 с.
- [7] Кристенсен Р. Введение в механику композитов. М.: Мир, 1982. – 336 с.
- [8] Маткаримов А. Х. Вопросы сейсродинамики подземных сооружений с учётом вязкоупругих свойств сооружений и контакта их с грунтом: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тошкент, 1974. – 13 с.
- [9] Sato K., Hamada M., Doi M. An Experimental Study of Effects of Laterally Flowing Ground on In-Ground Structures // Proceedings of the Fifth U.S.-Japan Workshop on Liquefaction, Large Ground Deformation and Their Effects on Lifelines, Snowbird, Utah, Technical Report NCEER-94-0026, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research. Buffalo, New York, 1994. P. 405 – 414.
- [10] Anil K. Chopra. Dynamics of structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering. Fourth Edition. Prentice Hall, 2012.

Институт механики и сейсмостойкости сооружений
 им. М.Т. Уразбаева АН РУз

Дата поступления
 28.12.2018

Р.Б. Хусаинов. Ер ости магистрал қувурларини ҳисоблаш масалаларида энергиянинг тўлқин билан олиб кетилишини ҳисобга олиш тўғрисида

Мазкур ишда ер ости магистрал қувурининг грунтдаги, қувур йўналиши бўйича тарқалаётган, импульс кўринишидаги бўйлама тўлқин, эластик ва ёпишқоқ ўзаро таъсир коэффициентлари таъсирида динамик муносабати таҳлили кўрсатилган. Эластик қувур чекли узунликка эга ва «труба-грунт» тизими ўзаро таъсир модели ёпишқоқ эластик деб қаралган ва қувурдаги максимал деформация грунтдагига нисбатан икки баробар катта бўлиши ҳолати мавжудлиги кўзатишган.

R.B. Khusainov. On the need to take into account the wave entrainment of energy in the problems of calculating underground trunk pipelines

The paper presents an analysis of the dynamic response of the underground main pipe under the action of a longitudinal wave in the soil in the form of a pulse propagating along the tube. It is assumed that the elastic tube has a finite length and a viscoelastic interaction model of the pipe-ground system is considered, and the case of an increase in the deformation maximum in the pipe relative to the maximum of the deformation of the soil is doubled.

ХРОНИКА

ВКЛАД УЧЕНЫХ УЗБЕКИСТАНА В СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ГЕОТЕХНИКИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ

В связи с интенсивным развитием строительной отрасли разрабатываются и внедряются новые эффективные технологии и материалы. В процессе проектирования и возведения зданий и сооружений возникает множество проблем, связанных с их надежностью и устойчивостью. Для их решения необходимы новые инженерные решения, совершенствование теории и методов расчета. Для азиатских стран СНГ, находящихся в сеймоопасных регионах, очень важны мировой опыт и достижения в области геотехники и сейсмостойкости зданий и сооружений. Следует отметить, что ученые Узбекистана внесли большой вклад в становление и развитие геотехники и сейсмостойкости зданий и сооружений [1 – 5]. За последнее десятилетие в Узбекистане прошло множество международных симпозиумов, форумов и конференций, где ученые страны поделились своим опытом и достижениями в этих научных областях [4 – 8].

Начало становлению и развитию геотехники в Узбекистане положено в 50-е годы прошлого столетия в Среднеазиатском политехническом институте (СазПИ) (ныне – Ташкентский государственный технический университет – ТГТУ) и Академии наук Узбекистана. На строительном факультете Института работал первый доктор технических наук по специальности «Основания и фундаменты» профессор Карим Казакбаевич Казакбаев. Он создал научную школу по механике грунтов, основаниям и фундаментам, сформировал инженерные кадры по строительной специальности, им опубликованы первый учебник и пособия по основаниям и фундаментам.

В Академии наук Республики Узбекистан (АН РУз) академик Ташпулат Ширинкулович Ширинкулов создал свою научную школу по геотехнике. Это был крупный ученый в области расчета конструкций на сплошном основании с учетом ползучести [2 – 4]. В 1972 г. Т.Ш. Ширинкулов опубликовал известную монографию «Расчет конструкций на неоднородном основании». Совместно со своими учениками (д.т.н., проф. А. Дасибековым и др.) Ташпулат Ширинкулович занимался вопросами, связанными с расчетом консолидации грунтового основания с учетом его многофазной структуры, а также их реологических свойств. Вместе с большой научной работой Т.Ш. Ширинкулов многие годы был ректором Самаркандского государственного архитектурно-строительного института (СамГАСИ) и подготовил много специалистов по геотехнике.

В настоящее время в СамГАСИ д.т.н., проф. А.З. Хасанов, его ученики и коллеги исследуют методы устройства искусственных оснований зданий и сооружений [2]. В 2006 г. ими опубликована книга «Основания и фундаменты на просадочных грунтах». В 2012 г. в Самарканде при активном участии проф. А.З. Хасанова прошел IV Центральноазиатский симпозиум «Геотехника для конструкций и сохранения исторических памятников» [5]. По результатам научных выступлений была опубликована книга «Proceedings of the IVth Central Asian Geotechnical Symposium (IVth CAGS). Geo-Engineering for Construction and Conservation of Cultural Heritage and Historical Sites- Challenges and Solutions. Samarkand, 2012». Необходимо отметить, что геотехнические проблемы по сохранению памятников культуры касаются также Казахстана, так как мавзолеи Арстан-баб, Хожа Яссави, Айша-Биби и др. находятся в подобных геологических условиях. На этом симпозиуме присутствовали крупные ученые и специалисты из разных стран: большая делегация ученых из Японии во главе с проф. Е. Ивасаки, российская делегация во главе с проф. А. Мангушевым, казахстанская во главе с проф. А. Жусупбековым и др.

В Ташкентском институте архитектуры и строительства д.т.н., проф. Х.З. Расулов и созданная им научная школа занимаются решениями таких проблем, как: сейсмостойкость лёссовых оснований зданий и сооружений, сеймопросадочные деформации лёссов, реологические свойства грунтов в основании сооружений [2, 5]. Х.З. Расулов опубликовал следующие известные книги: «Сейсмостойкость лёссовых оснований зданий и сооружений» (1977); «Сейсмостойкость грунтовых оснований» (1984).

В настоящее время ученики и коллеги созданной в Узбекистане научной школы геотехники продолжают свои экспериментальные и теоретические исследования для решения современных проблем механики грунтов, оснований и фундаментов.

Огромный вклад в развитие и становление сейсмостойкости сооружений внес академик АН РУз Турсунбай Рашидов – выдающийся ученый, основоположник и автор сейсמודинамической теории систем подземных сооружений, организатор науки и высшей школы РУз [6 – 9]. Турсунбай Рашидов своими научными и практическими работами внес серьезный вклад в развитие волновой механики, фактически основал в стране науку сейсמודинамики и внес вклад в развитие сейсмологии. Этими выдающимися трудами он получил мировое признание и уважение в качестве учёного и изобретателя и занял достойное место на олимпе науки наряду со своими известными учителями. Теперь на многие годы они – академики М.Т. Уразбаев, А.А. Ильющин, В.К. Кабулов и Т. Рашидов остались коллегами и соратниками по совместной научной и практической деятельности.

Став директором Института механики и сейсмостойкости сооружений Академии наук, Т. Рашидов на основе научных методов теоретической и прикладной математики и волновой механики создал концепцию модели строительства особо прочного сооружения метро, рассчитанного выдержать землетрясение до 9 баллов. Т. Рашидов в качестве представителя Академии наук Узбекистана принимал активное участие в процессе проектирования и строительства первой очереди метро. Он также осуществлял большую деятельность, являясь членом государственной комиссии по приёмке и сдаче в эксплуатацию готовых объектов ташкентского метро. 6 ноября 1977 г. произошло долгожданное важное историческое для Узбекистана событие – была сдана в эксплуатацию первая очередь первого в Центральной Азии метро и в торжественной обстановке состоялось открытие ташкентской подземной железной дороги.

Среди большого числа его учеников и соратников д.т.н., проф. Г.Х. Хожметов, А.А. Ишанходжаев, Б. Мардонов, В.А. Омеляненко, Я.Н. Мубораков, Р.Х. Мухутдинова, З.С. Сирождидинов, Ш.М. Маматкулов, А. Абдужапаров и др. тесно сотрудничали в разработке и проектировании ташкентского метро. В настоящее время разработаны новые линии метро, в проектировании которых активно участвуют ученики академика Т. Рашидова.

Академик Т. Рашидов и его ученики принимали активное участие в работе международных конгрессов и симпозиумов по сейсмостойкому строительству в Италии, Индии, Германии, США, Египте, Канаде, ЮАР, Сирии, Китае, Турции, Армении, Болгарии и других странах дальнего зарубежья.

При активном участии академика Т. Рашидова в Узбекистане были организованы и проведены всесоюзные научно-практические конференции и симпозиумы, среди которых важно отметить следующие: III, IV, V Всесоюзные конференции «Динамика оснований, фундаментов и подземных сооружений» (1973г, 1977г, 1981г, Ташкент), «Проблемы механики и сейсмодинамики сооружений» (2004).

13 – 15 сентября 2016 г. в Ташкенте прошла Международная конференция на тему: «Проблемы сейсмологии и сейсмодинамики» [8]. В ней приняли участие 31 учёный и академики из 13 зарубежных стран. Предложение российских и турецких учёных об открытии Международного научно-исследовательского центра сейсмодинамики в городе Ташкенте – родине этой науки было единогласно одобрено участниками конференции. В этой конференции активно участвовала казахстанская делегация, возглавляемая академиком НИА, ректором КазГАСА А.А. Кусаиновым. В настоящее время активно развиваются научные связи между КазГАСА и научной школой академика Рашидова. Научный и педагогический опыт узбекских ученых передается молодым ученым, магистрантам и преподавателям Казахстана. Широко известны научные труды ученика Т. Рашидова – д.т.н., проф. А.А. Ишанходжаева по сейсмостойкости тоннельных конструкций метрополитенов мелкого заложения и сейсмодинамике сооружений, взаимодействующих с грунтом.

Радостно отметить, что творческие связи науки Узбекистана и Казахстана имеют свою историю, она связана с именами таких выдающихся казахстанских ученых, как академики Ж.С. Ерманов, Ш.М. Айталиев, Т.Ж. Жунусов, У.А. Джолдасбеков.

Между институтами Казахстана (КазНИИСА, КазГАСА, КазАТК, КазНИТУ, КазДорНИИ и др.) и Узбекистана научное сотрудничество продолжается в течение нескольких десятилетий. Начало этого сотрудничества положено академиками Т.Р. Рашидовым и Ш.М. Айталиевым в области механики горных пород, динамики подземных сооружений. Дальнейшее развитие этого сотрудничества распространилось на строительство транспортных сооружений (метро и автодорог), а также на сейсмостойкое строительство зданий и сооружений. Это вызвано тем, что Узбекистан и Казахстан находятся в сейсмоопасных регионах (в 1966 г. – мощное землетрясение в г. Ташкенте и частые землетрясения в южных и восточных районах Казахстана). Прочность и надежность ташкентского метро проверены временем, поэтому благодаря сотрудничеству опыт строительства метро в г. Ташкенте был учтен при строительстве метро в г. Алматы.

С 2005 по 2010 г. в Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М.Тынышпаева были проведены 4 международных научно-технические конференции, посвященные актуальным проблемам геотехники, механики и строительства транспортных сооружений, где активно участвовали ученые Самаркандского государственного института архитектуры и строительства (СамГАСИ) во главе с академиком АН РУз Т.Ш. Ширинкуловым, Ташкентского автомобильно-дорожного института (ныне – Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог) во главе с д.т.н., проф. А.А. Ишанходжаевым, Института механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева АН РУз во главе с академиком Т. Рашидовым [1 – 4]. Были рассмотрены результаты статических и динамических расчетов строительных конструкций с учетом геометрической и физической нелинейностей, а также вопросы надежности в оценке сейсмических рисков зданий и транспортных сооружений, в частности, опыт строительства ташкентского метро.

Президент КазГАСА А.А. Кусаинов особое внимание уделяет развитию строительной науки и новым достижениям высшей школы бакалавриата и магистратуры. В Алматы с 2009 г. КазГАСА ежегодно проводит международные конференции по актуальным проблемам и перспективам развития строительства, в которых активно участвуют сотрудники Института механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз во главе с академиком Т.Р. Рашидовым [6, 9]. Представлены результаты исследований по проблемам становле-

ния и развития сейсмодинамики подземных систем жизнеобеспечения и разработки технологии оценки и снижения сейсмического риска в городах Центральной Азии. Для Казахстана ликвидация последствий сильных землетрясений и влияние грунта на поведение подземных систем жизнеобеспечения имеют очень важное значение. Специально для студентов, магистрантов строительных специальностей в стенах КазГАСА узбекскими учеными был проведен цикл лекций по сейсмостойкому строительству.

В 2012 г. объединением 6 вузов Казахстана была проведена международная научно-практическая конференция, посвященная проблемам геотехники и преподавания естественных дисциплин, где были широко представлены результаты исследований узбекских ученых по сейсмостойким конструкциям перегонных тоннелей станций метрополитена и реологическим моделям взаимодействия трубопроводов с грунтовым массивом [4]. Активное участие в этой конференции принял д.ф.м.н., проф. из Ташкента Б.М. Мардонов.

В 2015 г. президент КазДорНИИ д.т.н., профессор Б.Б. Телтаев организовал международный семинар по исследованиям в области горных пород и подземных сооружений, посвященный юбилею академика Ж.С. Ержанова. Были приглашены узбекские ученые, которые представили результаты своих исследований по современным моделям и методам расчета подземных сооружений. С обширным докладом по мировой практике строительства подземных сооружений выступил академик Т. Рашидов.

В 2016 г. и в 2017 г. в Ташкенте были проведены Международные научно-технические конференции по прочности конструкций и сейсмодинамике зданий и сооружений и по перспективам развития дорожно-транспортных и инженерно-коммуникационных инфраструктур. В них активно участвовали казахстанские ученые из КазГАСА, КазНИТУ и КазДорНИИ [7 – 8]. Были представлены современные теоретические и инженерные решения при обследовании сейсмостойкости зданий и сооружений в Узбекистане и в Центральной Азии. Рассмотрены также задачи интеграции науки, образования и производства в отрасли дорожно-транспортных коммуникаций. Казахские ученые из КазГАСА и КазНИТУ представили результаты исследований по сейсмостойкости зданий и сооружений и совершенствованию математических моделей и расчетных схем строительных конструкций. В 2009 г. и в 2018 г. в КазГАСА для студентов и магистрантов строительной специальности был организован цикл лекций по сейсмостойкому строительству, который провели академик АН РУз Т.Р. Рашидов и проф. А.А. Ишанходжаев.

В настоящее время продолжается активное сотрудничество между строительными организациями г. Ташкента и КазНИИСА. Сотрудники КазНИИСА в 2018г. провели динамические исследования на нескольких строительных объектах г. Ташкента, результаты которых говорят о высоком качестве строительных технологий и безопасности рассматриваемых объектов при 9-балльных землетрясениях.

Узбекистан и Казахстан входят в Евразийский экономический союз. Устанавливаются новые связи во всех областях науки и техники. В настоящее время в Казахстане – строительный бум, этому способствует правительственная программа «Нурлы жол». С каждым годом расцветает столица Астана, возводятся уникальные объекты в Алматы, появляются современные здания и транспортные сооружения, где используются мировые достижения в области строительных технологий и новые строительные материалы. Вместе с тем при проектировании, возведении и расчетах сложных конструкций зданий и сооружений появляется множество проблем как теоретического, так и практического характера. Особенно это касается мостовых конструкций и подземных сооружений. Для решения этих вопросов необходимо использовать постоянно развивающийся мировой опыт и обмен научными и инженерными информацией. В связи с этим необходимо укреплять взаимодействие между вузами Узбекистана и Казахстана, научными институтами и строительными компаниями. Одним из путей укрепления этих связей является обмен студентами и магистрантами для прохождения учебных практик, проведение семинаров и конференций, совместных культурных и спортивных мероприятий и т.д. В год Узбекистана в Казахстане (2018) в республике проведен ряд мероприятий по сотрудничеству и обмену опытом в области строительства в ряде вузов и научно-исследовательских институтов Казахстана. В начале декабря 2018г. в г. Алматы Президент КазГАСА А.А. Кусаинов совместно с узбекскими учеными организовал международную научно-практическую конференцию по актуальным проблемам и перспективам развития строительства: инновации, модернизация и эффективность [9]. В работе конференции участвовали ученые из России, Кыргызстана, Америки, известные ученые, специалисты и ведущие инженеры в области строительства из Узбекистана. На пленарном заседании был представлен совместный доклад академика Т. Рашидова, профессоров Б. Мардонова, И. Мирзаева о колебаниях подземных сооружений при сейсмических волнах, который вызвал большой интерес у казахстанских сейсмологов. В Алматы и Астане в настоящее время строятся и проектируются новые линии метрополитена, поэтому доклад профессора А.А. Ишанходжаева и С.Н. Джумабаева о проектировании и строительстве наземных линий Ташкентского метрополитена прошел с большой дискуссией по геотехническим и технологическим проблемам.

Хочется пожелать дальнейшее укрепление научных связей и развитие сотрудничества между двумя братскими странами. Этому будет способствовать широкое привлечение студентов, магистрантов и молодых ученых к решению современных научных и инженерных проблем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Труды Международной научной конференции «Проблемы механики и сейсродинамики сооружений», посвященной 70-летию акад. Т.Р. Рашидова. Ташкент, 2004.
- [2] Труды 2-го Центральноазиатского геотехнического симпозиума «Проблемы геотехники в современном строительстве и памятников архитектуры». Самарканд, 2002. С. 90 – 94.
- [3] Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Проблемы развития автотранспорта и транспортных коммуникаций в Центральноазиатском регионе». Ташкент: ТАДИ, 2007.
- [4] Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы геомеханики и преподавания естественных дисциплин». Алматы, 2012.
- [5] Proceedings of the IVth Central Asian Geotechnical Symposium (IV th CAGS). Geo-Engineering for Construction and Conservation of Cultural Heritage and Historical Sites- Challenges and Solutions. Samarkand, 2012.
- [6] Труды Международной научно-практической конференции «Механика и строительство транспортных сооружений», посвященной 75-летию академика Ш.М. Айтиалиева. Алматы, 2010. С. 162 – 165.
- [7] Proceedings of the international scientific and technical conference «Structurals strength seismodynamics of buildings and constructions». Tashkent, 2016.
- [8] Материалы Международной научно-практической конференции «Перспективы развития дорожно-транспортных и инженерно-коммуникационных инфраструктур». Ташкент, 2017.
- [9] Материалы Совместной Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительства: инновации, модернизация и энергоэффективность», посвященной Году Узбекистана в Казахстане. Алматы: Изд. «Строительство и архитектура», 2018.

*Доктор технических наук Е.А. Исаханов,
доктор технических наук С.Х. Достанова*

О МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

В декабре 2018 г. в стенах Казахской головной архитектурно-строительной академии прошла Международная научно-практическая конференция на тему: «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве», посвященная Году Республики Узбекистан в Казахстане. В работе этой конференции участвовали ученые из России, США, Узбекистана, Кыргызстана и других стран СНГ. Широко были представлены доклады по следующим направлениям: строительным конструкциям, строительной механике, технологии и механизации строительного производства, геотехники, инженерным системам и энергоэффективному строительству.

Все доклады на представленных 6 секциях являются актуальными и значимыми для современного строительства. Среди многочисленных докладов конференции можно отметить следующие, которые отличались своей практической значимостью.

На пленарном заседании был представлен совместный доклад академика АН РУз Т.Р. Рашидова и Ph.D Е.В. Ан из Института механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева АН РУз на тему: «Разжижение грунта и его влияние на поведение подземных систем жизнеобеспечения при сильных землетрясениях (с анализом отечественного и международного материалов)». Доклад вызвал большой интерес среди ученых, так как эта тема очень актуальна и значима для сейсмоопасных регионов Казахстана и Центральной Азии.

Профессора А.А. Рискулов, А.А. Ишанходжаев, М.Х. Миралимов из Ташкентского института по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог представили совместный доклад на тему: «Факторы риска и анализ геотехнической ситуации при строительстве подземных коммуникаций в Ташкенте». Опыт строительства ташкентского метро очень важен для алматынского метрополитена, так как имеет общие геотехнические проблемы.

Профессор А.Ж. Жусупбеков вместе со своими коллегами из ЕНУ им. Гумилева представил доклад по геотехническим конструкциям и испытаниям свай при сложных грунтовых условиях. Необходимо отметить, что результаты этих испытаний с использованием современных методов и аппаратуры были одобрены на многочисленных конференциях в Японии, США, Китае и других странах дальнего зарубежья.

Профессор В. Кальякин из США (Department of Civil and Environmental Engineering, University of Delaware (Newark, DE 19716, USA) представил доклад по численным методам исследований прочности и устойчивости дорожных покрытий. Были представлены результаты испытаний небольших мостовых конструкций. Для Казахстана, согласно государственной программе «Нурлы жол», возведение прочных и надежных мостовых конструкций, соединяющих отдельные разбросанные сельские районы, имеет важное транспортное и социальное значение. Особенно это важно для транспортной магистрали «Шелковый путь», соединяющей Европу с Азией.

Заместитель председателя ТК55 «Архитектура, градостроительство и строительство» А.Б. Конусбаев вместе со своими коллегами из Проектной академии KAZGOR сделали доклад по теме: «Деятельность по анализу и систематизации нормативной базы строительной сферы». Введение в Казахстане Еврокодов, безусловно привело к изменению старых стандартов и необходимости совершенствования нормативной базы.

Члены-корреспонденты НИА РК и МИА В.А. Лапин и С.Е. Ержанов, совместно с заведующим сектором инженерно-сейсмометрической службы АО «КазНИИСА» В.П. Даугавет представили доклад «Сравнительный анализ эффекта сейсмоизоляции с помощью станций инженерно-сейсмометрической службы на зданиях». Эта тема очень важна для снижения риска последствий землетрясений для зданий и сооружений.

Профессор В.А. Хомяков совместно со своими коллегами сделал интересный доклад по теме: «Восстановление аварийных подпорных стен в горных районах города Алматы». Необходимо отметить, что результаты данных исследований имеют важное значение в области геотехники и вызвали оживленный интерес у проектировщиков и строителей в сейсмоопасных зонах.

Учитывая, что 2018 год был годом Республики Узбекистан в Казахстане на конференции профессором Е.А. Исахановым был представлен доклад на тему: «Вклад ученых Узбекистана в становление и развитие геотехники и сейсмостойкости сооружений». В докладе был охвачен период с 1950 г. до настоящего времени.

Все представленные доклады были опубликованы в Материалах конференции. На пленарном закрытии конференции было отмечено, что современные проблемы в области строительства можно решать, укрепляя научное сотрудничество ученых путем обмена опытом и использования мировых достижений и инноваций.

*Профессор, доктор технических наук С.Х. Достанова,
кандидат технических наук Г.Т. Касымова*

УЧЕНЫЕ УЗБЕКИСТАНА ПОСЕТИЛИ АО «КАЗДОРНИИ»

5 декабря 2018 г. АО «КаздорНИИ» посетили заслуженный деятель науки, академик АН Узбекистана Т.Р.Рашидов и профессор Ташкентского института по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог (ТИПСЭАД) А.А. Ишанходжаев.

Связи с этим президент АО «КаздорНИИ» Б.Б.Телтаев провел рабочее совещание, где обсуждались вопросы дальнейшего сотрудничества в реализации совместных научных проектов, а также вопросы организации и проведения научно-практических конференций.

Турсунбай Рашидов является крупнейшим ученым в области механики, сейсмодинамики и сейсмостойкости сооружений, заслуженным деятелем науки Узбекистана, лауреатом Государственной премии в области науки и техники, лауреатом премии Совета Министров бывшего Союза.

Турсунбай Рашидов – автор 17 монографий и более 500 научных статей, имеет ряд авторских свидетельств, ответственный редактор свыше 40 сборников и монографий, им подготовлены 6 докторов наук и 40 кандидатов.

В честь 27-летия независимости Узбекистана наряду с группой государственных служащих и работников производственной и социально-экономической сфер Президент Узбекистана Шавкат Мирзиёев наградил доктора технических наук, профессора Турсунбая Рашидовича Рашидова орденом «Мехнат Шухрати».

В рамках данной встречи академик Т.Р.Рашидов и профессор А.А. Ишанходжаев были награждены медалью АО «КаздорНИИ» – «За вклад в дорожную науку».

Узбекские ученые пригласили сотрудников АО «КаздорНИИ» посетить Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог.

Всем известно, что 2018 год был объявлен Годом Узбекистана в Казахстане. Год Узбекистана в Казахстане – одно из заметных событий в жизни братских республик, способствующее развитию и укреплению политических, экономических и культурно-духовных отношений.

Современные тенденции развития науки ставят новые задачи перед учеными и специалистами дорожной отрасли. Мы желаем коллективу ТИПСЭАД повышать и укреплять престиж образования, а также уровень выполняемых прикладных и фундаментальных научных работ.

Для справки:

В 2018 г. исполнилось 45 лет со дня основания Ташкентского института по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог – преемника Ташкентского автомобильно-дорожного института (ТАДИ). С момента создания ТАДИ подготовлено более 40 тысяч высококвалифицированных специалистов.

Профессор, доктор технических наук А.А. Ишанходжаев

ПРОТОКОЛ ВСТРЕЧИ ДЕЛЕГАЦИИ ИЗ УЗБЕКИСТАНА С КОЛЛЕКТИВОМ АО «КаздорНИИ»

г. Алматы

5 декабря 2018 г.

Присутствовали: Б.Б. Телтаев, президент, д.т.н., профессор, академик НИА РК; К.М. Байгутанов вице-президент; Г.Г. Измаилова, директор Департамента дорожных конструкций и материалов; Е.К. Айдарбеков, к.т.н., директор Департамента стандартизации и информации; Б.К. Жексенбеков, директор Департамента автомобильных дорог и мостовых сооружений; Ф.К. Андриади, д.т.н., старший научный сотрудник; Б.С. Муртазин, к.т.н., профессор, научный консультант; Е.Д. Амирбаев, начальник Отдела дорожно-строительных материалов; Г.Б. Умарова, начальник отдела стандартизации; Ж.О. Байболекова, начальник Отдела диагностики, проектирования автомобильных дорог и мостовых сооружений; Г.А. Буцик, начальник Отдела экономики и организации дорожного строительства; К.С. Кулманов, к.т.н., старший научный сотрудник Отдела диагностики, проектирования автомобильных дорог и мостовых сооружений; Л.Н. Амижанова пресс-секретарь, Ж.Н. Кабимолдаева, главный специалист по кадрам; Т.Р. Рашидов, д.т.н., профессор, академик АН РУз, Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева (Узбекистан); А.А. Ишанходжаев, д.т.н., профессор Ташкентского института по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог, (Узбекистан); Е.А. Исаханов, д.т.н., профессор Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева; С.Х. Достанова, д.т.н., профессор Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева.

Секретарь: Е.А. Суппес, ученый секретарь АО «КаздорНИИ»

Повестка дня:

Обсуждение актуальных вопросов дорожной отрасли и дальнейшего сотрудничества между АО «КаздорНИИ» и специалистами Узбекистана в совместных научных работах и исследованиях

Вступительное слово в адрес присутствующих: президент АО «КаздорНИИ», д.т.н., профессор, академик НИА РК Б.Б. Телтаев.

С приветственными словами в адрес присутствующих также выступили:

– Т.Р. Рашидов, д.т.н., академик АН РУз, Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева, г. Ташкент, Узбекистан;

– А.А. Ишанходжаев, д.т.н., профессор Ташкентского института по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог (ТИПСЭАД), г. Ташкент, Узбекистан.

По вопросу повестки дня **СЛУШАЛИ:** президента АО «КаздорНИИ», д.т.н., профессора, академика НИА РК Б.Б. Телтаева, который довел до сведения присутствующих, что 2018 год проходит в рамках года Узбекистана в Казахстане. Год Узбекистана в Казахстане – одно из заметных событий в жизни братских республик, способствующее развитию и укреплению политических, экономических и культурно-духовных отношений. Сегодня отношения между двумя странами тесно связаны и в торгово-экономическом партнерстве. Во время государственного визита Президента Республики Казахстан Нурсултана Назарбаева в Узбекистан в сентябре прошлого года было подписано несколько важных соглашений в различных сферах.

Б.Б. Телтаев представил присутствующим д.т.н., академика АН РУз Т.Р. Рашидова. Он отметил, что Турсунбай Рашидов является крупнейшим ученым в области механики, сейсмомодинамики и сейсмостойкости сооружений, заслуженным деятелем науки Узбекистана, лауреатом Государственной премии в области науки и техники, лауреатом премии Совета Министров бывшего Союза. Турсунбай Рашидов – автор 17 монографий и более 500 научных статей, имеет ряд авторских свидетельств, ответственный редактор свыше 40 сборников и монографий, им подготовлены 6 докторов наук и 40 кандидатов.

В честь 27-летия независимости Узбекистана наряду с группой государственных служащих и работников производственной и социально-экономической сфер Президент Узбекистана Шавкат Мирзиёев наградил доктора технических наук, профессора Т.Р. Рашидова орденом «Мехнат Шухрати». Также Т.Р. Рашидов был награжден Орденом труда. Он имеет колоссальный профессиональный опыт и авторитет, позволяющий на государственном уровне решать актуальные проблемы отрасли.

Б.Б. Телтаев также представил присутствующим профессора ТИПСЭАД А.А. Ишанходжаева. Он подчеркнул, что профессор А.А. Ишанходжаев много лет занимается проблемами механики и дорожной отрасли, является заслуженным педагогом. Он был одним из проектировщиков-строителей Ташкентского метрополитена. Необходимость строительства метрополитена в то время нужно было согласовывать с Москвой. Строительство Ташкентского метрополитена началось в 1968 – 1970-е годы, и первая линия (получившая позже название «Чиланзарская») была запущена в 1977 г. Первый пусковой участок был сдан в эксплуатацию в ноябре 1977 г. Тогда для строительства метрополитенов ученые Казахстана и Узбекистана отстаивали проектные и технологические решения перед руководством, находящимся в г. Москве. Немаловажную роль в этом сыграл А.А. Ишанходжаев. В разные годы он являлся оппонентом и руководителем диссертационных работ многих казахстанских ученых.

Б.Б. Телтаев отметил, что присутствующие ученые из Узбекистана воспитали немало учеников, которые сейчас являются членами Национальной Академии наук РК.

На совещании **ВЫСТУПИЛИ:**

Т.Р. Рашидов, который отметил, что его работа и профессиональная деятельность всегда были связаны с казахстанскими учеными. Он также рассказал о своей совместной работе с академиками Ж.С. Ержановым и Ш.М. Айталиевым. Т.Р. Рашидов от имени своего руководства пригласил сотрудников АО «КаздорНИИ» посетить с официальным визитом Институт механики и сейсмостойкости сооружений им.М.Т. Уразбаева АН РУз и ТИПСЭАД для совместного обсуждения актуальных проблем механики и дорожной отрасли, для обмена мнениями и профессиональным опытом.

А.А. Ишанходжаев рассказал присутствующим о своей многолетней совместной работе с казахстанскими учеными по решению многих актуальных проблем механики и дорожной науки. Он поделился воспоминаниями о своих визитах в Казахстан, в частности, в город Алматы.

Б.С. Муртазин выступил перед присутствующими гостями с пожеланиями здоровья и творческих успехов. Пожелал продолжить работу по подготовке высококвалифицированных кадров, воспитывать молодое поколение. Он также поделился воспоминаниями своего давнего сотрудничества с узбекскими учеными, которые были не только в рамках профессионального общения, но и дружеского.

Встреча прошла в дружеской обстановке в традициях казахско-узбекской дружбы, стороны договорились продолжать взаимовыгодное сотрудничество в рамках Года Казахстана в Узбекистане в 2019 г.

Б.Б. Телтаев отметил, что современные тенденции развития науки ставят новые задачи перед учеными и специалистами дорожной отрасли. Он пожелал присутствующим здоровья, творческих успехов, процветания и благополучия.

В заключение Б.Б. Телтаев вручил Т.Р. Рашидову и А.А. Ишанходжаеву медаль «За вклад в дорожную науку».

*Президент Б.Б. Телтаев
Секретарь Е.А. Сунпес*

“НАЗАРИЙ МЕХАНИКА” ФАН БЎЙИЧА БИРИНЧИ ЎЗБЕК ОЛИМАСИ

Шоҳайдарова Пўлатой 1922 йил 7 декабрда Тошкент шахрида таваллуд топган. 1940 йили Тошкент шахридаги 40 сонли ўрта мактабни муваффақиятли битирган ва Ўрта Осие Давлат Университетининг физика-математика факултетига ўқишга кирган. 1945 йилда “Назарий механика” ихтисослиги бўйича ўқишни тамомлаган ҳамда кафедрада ишга қолиб ассистент, катта ўқитувчи, доцент лавозимларида 1999 йилгача ишлаган. Ўтган асрнинг 40-чи йилларида ўзбек тилида “Назарий механика” фанидан дарс берувчи ўқитувчилар кам бўлганлиги учун уни талабалик давриданок Тошкент темир йўл транспорти муҳандислари институтига ва Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институтига маъруза ва амалий дарсларни ўтишга жалб қилишган.



1943 йилда Ўзбекистонда собиқ иттифоқ Фанлар Академияси ташкил топган ва унда “Назарий механика” ихтисослиги бўйича аспирантура очилган. Шоҳайдарова Пўлатой ўзбек аёллари орасида биринчи бўлиб шу аспирантурага ўқишга кирган ва профессор Михаил Федорович Шульгин раҳбарлигида 1947 йилда “Назарий механика” ихтисослиги бўйича номзодлик диссертациясини ёқлаб физика-математика фанлари номзоди илмий унвонига сазовор бўлган. “Назарий механика” фани умумтехника фанларининг асоси бўлганлиги сабабли Шоҳайдарова Пўлатой ёш олима бўлишига қарамасдан уни пухта ўрганишга ва олган билимларини ёшларга ўргатишга умрини бағишлаган. Нафақат Ўзбекистонда, балки собиқ Иттифоқ даврида ҳам кўп йиллар мобайнида Иттифоқ миқёсида “Назарий механика” бўйича Услубий Кенгашининг аъзоси бўлган.

Шоҳайдарова Пўлатой “Назарий механика” фанидан олий ўқув юртлирида дарс берибгина қолмай, балки сиртдан ва мустақил равишда “Назарий механика” фанини ўрганаётган талабалар учун телевидения орқали шу фан бўйича бир неча йил давомида маърузалар ўқиган ва шу билан бирга телевиденияда маъруза ўқийдиган шогирдлар тайёрлаган.

“Назарий механика” фанидан ўзбек тилида дарслиklar кам бўлганлиги учун 1981 йилда ҳаммуаллифлар билан биргаликда “Назарий механика” номли ўқув қўлланмасини чоп этишган. Бу ўқув қўлланмага талаб катта бўлганлиги учун 1991 йилда у қайта нашр этилган.

Пўлатой Шоҳайдарова нафақат талабаларга, ўзига нисбатан ҳам жуда талабчан инсон бўлган. Бир неча йил давомида “Назарий механика” фанидан талабаларга дарс беришига қарамасдан ҳар бир дарсга пухта тайёргарлик кўрар, қандай услубда дарс олиб борилса талабалар учун ҳам қизиқарли ҳам тушунарли бўлиши устида изланарди. Ҳар бир дарсга тайёрланган маърузаларни қайта-қайта таҳлил қилиб чиқар, уларни мавзунини тўлиқ очиб берадиган бўлишига ва шу мавзуда оид охириги янгиликларни киритишга ҳаракат қилар эди. У киши таълим фидоийси сифатида талабаларга фанини ўргатиш билан бирга чин инсон,

меҳрибон мураббий сифатида ҳам уларга тарбиявий таъсир ўтказишнинг ҳам ўзига хос усулларини қўллар, истеъдодли талабаларни атрофларига йиғиб, орттирган юксак билим ва тажрибалари билан бўлишишга, қўшимча малумотлар беришга ва илмга чанқоқ ёшларни тўғри йўналтириш йўлида вақтларини аямасдан ҳаёт тажрибаларидан насиҳат ва маслаҳатлар берар эди.

Пўлатой Шохайдарова олима бўлиш билан бир қаторда фаол ташкилотчи ҳам бўлиб кўп ижтимоий ишлар бажариб келган. Жумладан, 1956 йилда депутатлар Кенгашининг депутати, кўп йиллар давомида Тошкент давлат университети “Механика-математика” факультетида хотин-қизлар уюшмасининг раиси ва университет бўйича хотин-қизлар уюшмасининг аъзоси бўлиб жамоат ишларини бажариб келган. Талаба қизларга онадек меҳрибон бўлиб, уларга насиҳатлар қилиб, кийин вазиятларга тушиб қолганларида ёрдами аямасдан келган.

Шохайдарова Пўлатой кўп йиллар давомидаги илмий, ташкилий ва тарбиявий фидокорона меҳнатлари учун “Хурмат Белгиси” ордени, “Меҳнат фахрийси” ва “Шуҳрат” медаллари, Улуғ Ватан уруши ғалабасининг 50 йиллик юбилеи ва Тошкент давлат университети ташкил этилганлигининг 50 ҳамда 70 йиллик юбилейлари муносабатлари билан юбилей медаллари билан тақдирланган.

Ўзбекистонда фан ва олий таълимни ривожлантиришга катта ҳисса қўшган чин инсон, бебаҳо ҳаёт тажрибалари билан узок йиллар ёшларнинг меҳрибон устози, таълим фидойиси бўлган Пўлатой Шохайдарова республика механикалари орасида етук мутахассис сифатида чуқур из қолдирган.

Журнал таҳририяти

ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ, ПРОФЕССОР ҲАМИДХОН ТУРСУНОВИЧ АҲМАДХҲҲАЕВ 70 ЁШДА



Ҳамидхон Турсунович Аҳмадхўжаев 1949 йил 7 февралда Наманган шаҳрида ҳарбий хизматчи оиласида таваллуд топган. 1966 йили ўрта мактабни битириб, Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институтига ўқишга кирди. Бу даргоҳни 1971 йили тамомлаб, Ўзбекистон Республикаси Пахта тозалаш саноати вазирлигининг экспертиза бўлимида муҳандис, кейинчалик катта муҳандис вазибаларида ишлади.

У 1973 йилдан 1982 йилгача Тошкент тўқимачилик ва енгил саноат институтида (ТТЕСИ) аспирант, ассистент, доцент лавозимларида фаолият кўрсатди. 1982 йилдан 1988 йилгача шу институтнинг Наманган филиалида директор лавозимида ишлади.

Ҳ.Т. Аҳмадхўжаевнинг ташаббуси билан институтда 4 та мутахассислик кафедраси ташкил этилди, кундузги ўқув бўлими очилди, профессор-ўқитувчиларнинг илмий салоҳияти 16 фоизга ўсди. 1988-1992 йилларда ТТЕСИ «Пахтани дастлабки ишлаш» кафедрасини бошқарди. Сўнгра 1993-1998 йилларда Наманган муҳандислик иқтисодиёт институти (ҳозирги Наманган муҳандислик технология институти) ректорининг ўқув ишлари бўйича ўринбосари бўлди. 1998 йилдан 2005 йилгача эса институт ректори сифатида фаолият кўрсатди.

Унинг бевосита раҳбарлигида 10 нафар фан номзоди ва бир қанча етук кадрлар тайёрланди. 50 дан ортиқ рационализаторлик ва ихтирочилик тақлифларига давлат патентлари олинди. Ҳ.Т. Аҳмадхўжаевнинг илмий-педагогик фаолияти натижаларига таяниб, қарийб 50 йил мобайнида пахта саноати техника ва технологияларини такомиллаштириш ва самарадорлигини ошириш йўналишларида илмий мақолалар, ахборотлар, монографиялар, дарсликлар, ўқув-услубий қўлланмалар, тавсияномалар яратди.

Ҳамидхон Турсуновичнинг саъй-ҳаракатлари натижасида институт жамоасининг дунёдаги ривожланган мамлакатлардаги илм даргоҳлари билан ҳамкорлик ўрнатилди. Хусусан, АҚШнинг Мериленд университети, Ҳиндистоннинг Жавоҳарлал Неру, Индира Ганди номли очик миллий университетлар, Россиянинг Кострома Давлат техника университети, Иваново Давлат тўқимачилик академияси, Санкт-Петербург технология ва дизайн университети, Москва Тўқимачилик Академияси билан икки томонлама алоқалар йўлга қўйилди.

Бугунги кунда таваллудининг қутлуғ 70 йиллиги ҳамда илм-фан тараққиётига хизмат қилаётганининг қарийб 50 йиллигини муносиб нишонлаш бахтига сазовор бўлаётган таниқли олим Ҳамидхон Турсунович Аҳмадхўжаев ижтимоий-сиёсий ҳаётда ҳам кўпчилик ёру-биродарларига, шогирдларига чинакам ибратдир.

Устоз Ҳамидхон Аҳмадхўжаев бугун тўрт нафар фарзанд, 13 та набира, 2 чеваралари, файзли хонадоннинг таянчи ва дуоғўйи сифатида чинакам бахт соҳибидир.

Журнал таҳририяти Ҳ.Т. Аҳмадхўжаевга келгуси ишларида муваффақиятлар, сиҳат саломатлик, юртимизнинг пахта саноати мутахассислиги бўйича ракобатбардош, малакали кадрларини тайёрлашида эса куч-қувват ва улкан зафарлар тилайди.

Журнал таҳририяти

**УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ И СООБЩЕНИЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ
В УЗБЕКСКОМ ЖУРНАЛЕ «ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ» В 2018 Г.**

**Номер
журнала**

Абдукаримов А., Бахадиров Г.А., Мадаминов С.М. Синтез зубчато-рычажного дифференциального межвалкового передаточного механизма с параллелограммным рычажным контуром.....	3
Абдусаттаров А., Сабилов Н.Х. К решению разностных краевых задач составных оболочечных конструкций типа цистерны.....	1
Адылходжаев А.И., Кондращенко В.И., Махаматалиев И.М., Цой В.М. О физических принципах голографической интерферометрии и возможностях её применения в исследованиях композитных материалов.....	1
Академик АН РУз К. Аллаев. Великий ученый и организатор науки.....	3
Ахмедов А. Влияние массы пробы хлопковых семян на погрешность измерения опушенности на акустическом приборе.....	2
Ахмедходжаев Х.Т., Бобоматов А.Х., Сидиков А.Х. Пахтани майда ифлосликлардан тозалагич тўри юзасидаги қайишқоқ пластиналарни моделлаштириш	2
Ахмедходжаев Х.Т., А Обидов А., Султонов М. Яхши жинланмаган толадор чигитларни янги жин машинаси ишчи барабанига йўналтириш имкониятини асослаш.....	2
Ахмедходжаев Х.Т., Мардонов Б.М., Сафаров Н.М. Разработка математической модели сушки хлопка-сырца в трубопроводе потоком горячего воздуха.....	3
Ашрабов А.А., Касимова Г.А., Алменов Х., Ашрабова М.А. Преимущества и перспективы применения высокоэффективных и высокопрочных бетонов.....	4
Байбулатов Х.А., Бердибаев М.Ж. Автомобиль йўлларининг темир бетон кўприкларини юк кўтариш қобилияти ва узокка чидамлилигини ошириш муаммолири.....	3
Байбулатов Х.А., Бердибаев М.Ж. Дефекты и повреждения мостовых конструкций и их влияние на потребительские свойства мостов.....	4
Байманов К.И. О критериях устойчивости русел рек и каналов.....	3
Байманов К.И., Байманов Р.К. Учет природных деформаций русел рек при проектировании мостовых переходов.....	1
Байманов Р.К. О методах расчета реформирования нижних бьефов речных гидроузлов.....	3
Бакиев М.Р., Рахматов Н., Жаханов А. Расчет водного баланса поверхностных вод Ферганской долины.....	4
Бахадиров Г.А., Набиев А.М., Мусиров М.У. Исследование влияния действующих сил в процессе обработки кожевенного полуфабриката между валковой парой.....	3
Бахадиров Г.А., Хусанов К., Рахимов А. Исследование факторов неравномерности растягивания в процессе расправки полуфабриката.....	2
Бекмирзаев Д.А. Влияние силы инерции в задачах подземных трубопроводов при сейсмических воздействиях.....	2
Бердиев Д.М. Пулатларни абразив ейилиш бардошлилигига киздириш хароратининг таъсири.....	2
Биография Президента Казахской головной архитектурно-строительной академии Кусаинова Амирлана Айдарбековича.....	2
Бурнашев В.Ф., Хужаёров Б.Х. Математическое моделирование кислотного воздействия на призабойную зону пласта нефтяных месторождений с карбонатными трещиновато-пористыми коллекторами..	2
Галиаскаров В.А., Адиллов Ф., Абилов Р.А. К усовершенствованию методов проведения экспериментальных исследований на сложное нагружение.....	1
Джураева Н.Б. Численный анализ распределения давления и скорости движения куста хлопчатника через рабочую камеру хлопкоуборочного аппарата.....	4
Доктор физико-математических наук, профессор И.И. Сафаров. Академик Ёрмухамед Нурупович Мубараков и его вклад в развитии сейсродинамики подземных сооружений.....	3
Ергашев З.З., Абдукодиров Ф.Э. Темир йўл ер тўшамасидаги баъзи механик таъсирлар хақида.....	4
Жахонгиров А. Обоснование диаметра диска сошника сеялки для сева зерновых в междурядьях хлопчатника.....	3
Жовлиев У.Т., Маннопова Х.А., Худайкулов Б.С. Связь зоны пониженного или повышенного давления с характерным изменением скоростного напора.....	3
Жовлиев У.Т., Худайкулов Б.С. Движение жидкости в вибрирующем трубопроводе.....	3
Жовлиев У.Т., Худайкулов Б.С. Динамика гидравлического удара при открытии и закрытии затворов водовыпускного сооружения водохранилищ.....	2
Жураев М.Н., Тогаев А.А., Шермухамедов Ю.А. Решение задачи эффективного использования парка автопоездов при перевозке хлопка-сырца из заготовительных пунктов до хлопкоочистительных заводов методом линейного программирования.....	4

Индиаминов Р.Ш., Наркулов А.С. Исследование деформирования токонесущих ортотропных оболочек в нелинейной постановке.....	4
Инновационные технологии целенаправленного использования поверхностно-активных веществ для решения проблем физико-химической механики.....	2
Исаханов Е.А., Достанова С.Х. Вклад ученых Узбекистана в становление и развитие геотехники и сейсмостойкости сооружений.....	4
Кадилов С.М., Кодирова О.С., Эронов С. Легковой автомобиль "SANO".....	3
Кадыров С.М., Файзиев М.М. Некоторые результаты исследования показателей дизеля КамАз-740 в горных условиях.....	3
Каримов А.М. Некоторые методы решения динамических задач вязкоупругих композитов квазипериодической структуры.....	1
Каримов К.А., Умурзаков А.Х., Ахмедов А.Х. Перспективы разработки управляемых прецизионных механизмов. От теории к конструкциям (Часть 2).....	3
Каримов К.А., Умурзаков А.Х., Ахмедов А.Х. Перспективы разработки управляемых прецизионных механизмов. От теории к конструкциям (Часть 1).....	2
Каримов Р.И., Бегимов Н.Н. Моделирование динамики кулачково-рычажного механизма при учете упругости ведомого звена.....	1
Коршунова Н.А., Рузматов М.И. Оптимизация маневра столкновения космического аппарата с астероидом.....	2
Кенжабоев Ш., Турдалиев В. Разработка конструкции и методика расчета трения в кинематической паре пятого класса с продольными пазами.....	4
Купалова Ю., Каюмов А., Пардаев Х. Кўпалова Ю., Қаюмов А., Пардаев Х. Қуритиш барабани юзасини қизиш температурасини ошириш.....	1
Кўпалова Ю., Қузиёв Б., Қаримбердиев Ж. Пахтани қуритиш барабанида иссиқлик алмашув жараёнарини таҳлили.....	1
Лапин В.А., Ержанов С.Е., Даугавет В.П. Сравнительный анализ эффекта сейсмоизоляции с использованием инструментальных записей станций инженерно-сейсмометрической службы.....	4
Лесов К.С. Определение объемных показателей строительства новых региональных железных дорог.....	1
Маликов З.М., Йулдашев А.Т., Кулдошев Д.А., Абдукадыров А.А., Ким К.Ф., Рузикулов К.М. Проектирование опытно- промышленной установки для сепарации цинкового порошка и результаты её испытаний.....	2
Маликов З.М., Йулдашев А.Т., Мадалиев М.Э. Особенности и анализ пневматической сепарации порошковых материалов.....	3
Маликов З.М., Назаров Ф.Х. Численное исследование закрученного двухфазного турбулентного потока.....	3
Маликов З.М., Назаров Ф.Х., Мадалиев М.Э. Численное моделирование обтекания плоской пластины турбулентным потоком воздуха с нулевым градиентом давления на основе k-ε моделей.....	4
Мамасолиев К. Применение ортогональных полиномов к решению контактной задачи об изгибе трехслойных балочных плит, взаимодействующих с основанием.....	3
Маматов А.З., Каюмов А.Х. Влияние температуры сушильного агента и производительности сушилки на штапельную массодлину волокон.....	1
Мансурова М.А., Бехбудов Ш.Х. Анализ колебаний ролика устройства для нанесения полимерной композиции по строчке сшиваемых материалов в швейной машине.....	2
Матчанов Р.Д. Интеграция фундаментальной, прикладной, вузовской науки с производством на базе научно-технического кластера.....	4
Мирахмедов М.М., Музаффарова М.К. Ресурсосберегающее закрепление подвижных песков.....	1
Мирсалихов З.Э. Исследования колебательного процесса грунтов земляного полотна при вибродинамическом воздействии скоростных поездов.....	1
Мирзоев А.А., Ходжаев Я.Д., Мадалиев М.Э. Математическое моделирование процессов деформирования и течения высококонцентрированных суспензий в цилиндрических трубопроводах.....	4
Мукумов М.М. Тўқимачилик саноатида инновацион ишланмаларнинг ўрни.....	1
Мукумов Н.Б. Нотекис намланган толани саклаш муддатини уни рангига таъсири.....	1
Мухаммадиев Д.М., Абдугаффаров Х.Ж. Исследование движения рабочих органов машинного агрегата винтового конвейера.....	1
Мухаммадиев Д.М., Б Примов Х., Камалов С.Н. Исследование движения сырьцевого валика по поверхности нижнего фартука пильного джина.....	3
Мухаммадиев Д.М., Ибрагимов Ф.Х., Росулов Р.Х. Исследование амплитуды радиальных колебаний междупильных прокладок пильного цилиндра.....	3
Мухамедов Ж., Турдалиев В.М., Косимов А.А., Абдуллажонов А.А. Кинематический анализ зубчато-ременной передачи с составным шкивом.....	4
Наврүзов Н.А. Жин хом ашё валигининг тузилма таркибини аниқлаш методикаси ва таҳлили.....	1
Наврүзов Н.А., Шамсиев И. Жин ишчи камерасида хом-ашё валиги таркибини ўзгариш динамикаси..	1
“Назарий механика” фанининг биринчи ўзбек олимаси.....	4

Норкузиев О.С., Джураева Н.Б., Шеркобилов С.М., Мирзаева М.М.. Методика расчета полноты сбора и оценка качества собранного хлопка-сырца в зависимости от количества шпинделей хлопкоуборочной машины.....	2
О достижениях в научно-педагогической деятельности доктора технических наук, профессора Сарвара Мукадировича Кадирова	1
О книге Р.Д. Матчанова «Страницы жизни». Ташкент: Фан, 2018. – 279 с.....	3
О Международной научно-практической конференции.....	4
Парпиев А., Каюмов А.Х., Купалова Ю.И. Пахтани қуритиш режимини такомиллаштириш.....	3
Парпиев А., Кўпалова Ю.И., Усмонқулов А.Қ. Қуритиш барабанида кондуктив усулда иссиқлик алмашув жараёнини таҳлили.....	2
Парпиев А., Собиров И.. Изучение влияния величины выступа пил над колосниками на показатели джина-регенератора 1ДР-119.....	3
Парпиев А., Собуров И., Муқимов Н. Юқори намликдаги пахталарни марказлаштирилган ҳолда қуритиш.....	1
Пахтани дастлабки ишлаш техника ва технологияларини ривожлантириш йўлида.....	1
Пирматов Р.Х., Захаров А.В. О зависимости прохождения звука от угла падения на границу сред или массивный слой.....	1
Протокол встречи делегации из Узбекистана с коллективом АО «КаздорНИИ».....	4
Ражабов О.И. Пахта хомашёсини майда ифлосликлардан тозалаш машинасидаги янги кўп қиррали тўрли сиртнинг параметрларини математик моделлаштириш.....	4
Расулов У.Р. Некоторые результаты экспериментальных исследований гидродинамики потока воды и вопросы бесконтактного измерения его скорости и расхода.....	2
Рашидов Т.Р., Ан Е.В. Влияние разжижения грунта на повреждения подземных трубопроводов при сильных землетрясениях.....	4
Рашидов Т., Ризаев А. К 100-летию академика Х.Х. Усманходжаева.....	3
Рашидов Т.Р., Кондратьев В.А. Землетрясения и катаклизмы в Индонезии. Хроника и последствия...3	
Рашидов Т.Р., Мардонов Б. Оценка влияния поперечной инерции сечения на параметры распространяющихся стационарных волн в подземных трубопроводах.....	1
Рашидов Т.Р., Мардонов Б., Мирзаев И. О колебаниях подземных трубопроводов под действием сейсмических волн.....	4
Рашидов Т.Р., Парпиев А. Кластер тизими: муаммо ва вазифалар	3
Рашидов Т.Р., Ражабов Р.Р., Ризаев А.А. Высокоэффективный рабочий орган хлопкоуборочного аппарата.....	3
Ризаев А.А., Джураева Н.Б. Параметры следа контакта «хлопковая коробочка – шпindelь» в уборочном аппарате.....	3
Ризаев А.А., Йўлдашев А.Т., Кўлдошев Д.А.. Пахта териш машинасида терим тўлиқлигини ҳисоблашнинг такомиллаштирилган математик модели	2
Ризаев А.А., Омонов Н. К расчету количества шпинделей на барабанах хлопкоуборочного аппарата.....	2
Сагдиев Ҳ.С., Бекмирзаев Д.А. ЎзР ФА М.Т. Ўрозбоев номидаги Механика ва иншоотлар сеймик мустаҳкамлиги институтининг 2018 йилдаги илмий-ташқилий фаолияти.....	4
Сагдиев Ҳ.С., Тешабаев З.Р., Галиаскаров В.А., Шерниёзов Х.О., Мирзакабилов Б.Н., Нишонов Н.А. Модельные исследования взаимодействия полимерных труб с грунтом при действии температуры.....	2
Салохиддинова М.Н., Мурадов Р., Каримов А.И. Янги конструкцияли сепаратор ишчи камерасидаги пахта бўлақларининг ҳаракатини назарий тадқиқоти.....	4
Сидиков М.Н. Отклонения системы с кинематическими связями под действием постоянно действующих возмущений относительно опорной траектории.....	4
Собиров Б.А., Бакиров Л.Й., Халимов Ш.А., Тураев М.У., Джумабаев А.Б. К созданию установки для исследования релаксации напряжения в полимерных композиционных материалах с учетом трения и изнашивания.....	4
Собиров И.К. Исследование очистителя ОН-6-3 м при очистке волокнистых отходов хлопководов.....	1
Собирова З.А., Ташпулатов С.Ш., Черунова И.В. Комплексная оценка формоустойчивости цельноформованных объемных деталей меховых изделий.....	1
Техника фанлари доктори, профессор Каримов Расуль Исхакович 70 ёшда	1
Техника фанлари доктори, профессор Мирабзал Мираюбович Муқимов 75 ёшда.....	2
Техника фанлари доктори, профессор Ҳамидхон Турсунович Аҳмадхўжаев 70 ёшда.....	4
Тожибой Бўриевни хотирлаб.....	1
Тошболтаев М., Сейтимбетова З. Дилерлик пунктининг жойлашиш ўрнини аниқлашнинг гравитацион модели.....	3
Тошболтаев М., Холиқов Б.. Трактор поезди таркибидаги тиркамаларнинг рационал сонини аниқлаш.2	
Тошболтаев М.Т., Худайкулиев Р.Р., Солиев Ҳ. Қатор ораларини культивациялашда ўсимликлар шикастланишининг эҳтимоллий-статистик моделлари.....	3

Тошкент темир йўл мухандислари институтининг бугуни ва келажак стратегияси.....	1
Тураходжаев Н. Д., Камолов Ж. С., Тураходжаева Ф. Н., Ташбулатов Ш. Б., Чоршанбиев Ш. М. Тепловая схема плавки металла под слоем биологически активного флюса.....	3
Убайдуллаева Д. Х., Ханхаджаева Н. Р., Бегманов Р. А. Пресс асосли тукли трикотаж полотноларининг сифатини эксперт услубда баҳолаш.....	2
Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси М.Т. Ўрозбоев номидаги Механика ва иншоотлар сейсмик мустахкамлиги институти “Ёш олимлар кенгаши”нинг бугунги кундаги фаолияти.....	2
ЎЗР ФА Академиги И. И. Искандеров. Академик Х.М. Абдуллаев-беназир фан ташкилотчиси ва буюк давлат арбоби.....	3
ЎЗР ФА академиги, ф.-м.ф.д., профессор, Беруний номидаги Давлат мукофоти совриндори Усаров М. К., Аюбов Г. Т. Динамический расчет здания на основе континуальной пластинчатой модели.....	1
Усаров М. К., Руми Д. Ф., Аюбов Г. Т. Определение динамических характеристик пластинчатой континуальной модели здания.....	4
Усаров М. К., Усаров Д. М.. Теория толстых пластин переменной толщины с учетом бимоментов.....	3
Ученые Узбекистана посетили АО «КаздорНИИ»	4
Файзибаев Ш. С., Набиев Э. С. Температурные напряжения в материале железнодорожного колеса.....	1
Физика-математика фанлари доктори, профессор Ботир Мардонович Мардонов – 75 ёшда.....	2
Халмуратов Р. И., Нишонов У. А. Колебания пластин, подкрепленных ребрами жесткости.....	2
Хакимов Б. Б., Худайкулов С. И. Диаграммы определения параметров смеси дизельного топлива и биоэтанола.....	1
Хасанов А. З., Хасанов З. А., Хонкелдиев М. М., Набиева Н. А.. Экспериментально- теоретические исследования определения закономерности распределения напряжений в грунтах.....	2
Худайкулиев Р. Р., Джураева Н. Б., Холматова З. Т. Выбор компоновочных схем и проектирование широкозахватных комбинирующих агрегатов с универсальной рамой.....	4
Худайкулиев Р. Р., Йўлдашев А. Т., Қўлдошев Д. А.. Пахта териш машинаси иш унумини башоратлашнинг замонавий моделларини ишлаб чиқиш.....	2
Худойназаров Х., Скрипняк В. А., Яхшибоев Ш. Нестационарные поперечные колебания трехслойной вязкоупругой пластинки.....	2
Хужаёров Б. Х., Махмудов Ж. М., Сулаймонов Ф. У. Фильтрация и перенос вещества в цилиндрической двухзонной пористой среде с учетом неоднородности поля скоростей фильтрации.....	4
Хуррамов Ш. Р., Бахадиров Г. А., Абдукаримов А. Анализ углов контакта двухвалкового модуля.....	4
Хусаинов Р. Б. О необходимости учёта волнового уноса энергии в задачах расчёта подземных магистральных трубопроводов.....	4
Хусанов И. Н., Цой Г. Н. Определение реологических параметров неньютоновских сред, деформируемых ускоренно и по инерции.....	1
Шермухамедов У. З. Особенности теории двухмассовой системы с жестко присоединенной концевой частью моста с учетом сейсмических воздействий.....	1
Шукуров Р. У., Азизов А. А., Хужаназаров Б. Ф., Хужахмедова Х. С. Расчет интенсивности абразивного изнашивания зубьев одноковшовых экскаваторов.....	3
Щипачева Е. В., Шарипова Д. Т. Метод решения теплопереноса в многослойных строительных конструкциях с учетом солнечной радиации.....	1
Эргашев И. Т., Пардаев Х. Қ., Исматов А. И. Боғ қатор ораларига текис ишлов берадиган плуг таянч гилдиракларига тушадиган юкларнинг назарий тадқиқоти.....	2
Юлдашев Ш. С., Карабаева М. У., Бойтемиров М. Б. Исследование коэффициентов условий излучений на границах в зависимости от частоты распространяемой упругой волны при решении динамических теории упругости методом конечных элементов.....	3

МУНДАРИЖА

Ҳ.С. Сагдиев, Д.А. Бекмирзаев. ЎзР ФАМТ. Ўрозбоев номидаги Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлик институтининг 2018 йилдаги илмий-ташкилий фаолияти.....	3
М.Н. Сидиков. Кинематик боғланишли системани доимо таъсир килувчи оғдиришлар таъсирида таянч траекторидан оғиши.....	7
Р.Ш. Индиаминов, А.С. Наркулов. Масала чизиклимас қўйилганда токташувчи ортогроз кобикнинг деформацияланишини тадқиқ қилиш.....	10
В.А. Лапин, С.Е. Ержанов, В.П. Даугавет. Муҳандислик-сейсмометрик хизмати станциясининг инструменталь ёзувларидан фойдаланиб сейсмоизоляция эффектини солиштирма таҳлили.....	14
Т.Р. Рашидов, Б. Мардонов, И. Мирзаев. Сейсмик тўлқинлар таъсирида ер ости қувурларини тебраниши.....	19
М.К. Усаров, Д.Ф. Руми, Г.Т. Аюбов. Бинолар пластинасимон континуаль моделининг динамик характеристикаларини аниқлаш.....	24
М.Р. Бакиев, Н. Рахматов, А. Жаханов. Фарғона фодийсидаги ер усти сувлари балансини ҳисоблаш.....	28
З.М. Маликов, Ф.Х. Назаров, М.Э. Мадалиев. Босимсиз силлик пластинкада оқимни трубулент ҳаракатини к-ε моделлар орқали моделлаштириш.....	33
А.А. Мирзоев, Я.Д. Ходжаев, М.Э. Мадалиев. Юқори концентрацияли суспензияларнинг цилиндрик қувурларда деформацияланиши ва оқиши жараёнларини математик моделлаштириш.....	38
Б.Х. Хўжаёров, Ж.М. Махмудов, Ф.У. Сулаймонов. Икки зонали цилиндрик ғовак муҳитда биржинсли бўлмаган тезлик майдонини ҳисобга олганда модданинг қўчиши ва сизиши.....	43
Н.Б. Джураева. Пахта териш аппаратининг ишчи камераси орқали ғўза тупининг ҳаракатланиш тезлиги ва унинг босим тақсимотининг ҳисоблаш усули.....	48
Ш. Кенжабоев, В. Турдалиев. Бўйлама ўйиқчали бешинчи синф кинематик жуфтлик конструкциясини ва ишқаланишининг ҳисоблаш усулини ишлаб чиқиш.....	53
Ж. Мухамедов, В.М. Турдалиев, А.А. Қосимов, А.А. Абдуллажонов. Таркибли шкивли тишли-ғасмали узатманинг кинематик таҳлили.....	56
М.Н. Салоҳиддинова, Р. Мурадов, А.И. Каримов. Янги конструкцияли сепаратор ишчи камерасидаги пахта бўлақларининг ҳаракатини назарий тадқиқоти.....	61
Жураев М.Н., Тоғаев А.А., Шермухамедов Ю.А. Пахта хом ашёсини пахта тайёрлаш пунктларидан пахта тазалаш заводларига ташишда автопоездлар паркидан самарали фойдаланиш масаласини чизикли дастурлаш усули ёрдамида ечиш.....	65
Ш.Р. Хуррамов, Ғ.О. Баҳадиров, А. Абдукаримов. Икки валли модулнинг контакт бурчаклари таҳлили.....	68
О.И. Ражабов. Пахта хомашёсини майда ифлосликлардан тазалаш машинасидаги янги қўп киррали тўрли сиртнинг параметрларини математик моделлаштириш.....	72
А.А. Ашрабов, Г.А. Касимова, Х. Алменов, М.А. Ашрабова. Юқори самара ва мустаҳкамликка эга бўлган бетонларни қўллашнинг афзаллиги ва истиқболлари.....	77
Б.А. Собиров, Л.Й. Бакиров, Ш.А. Халимов, М.У. Тураев, А.Б. Джумабаев. Ишқаланиш ва ишдан чиқишни ҳисобга олиб полимер композицион материалларда кучланиш релаксацияси тадқиқотлари учун қурилма яратиш.....	81

Илмий ахборотлар

З.З. Ергашев, Ф.Э. Абдуқодиров. Темир йўл ер тўшамасидаги баъзи механик таъсирлар ҳақида.....	86
Р.Д. Матчанов. Фундаментал, амалий, ОТМ фанининг илмий-техник кластер асосида ишлаб чиқариш билан интеграцияси.....	88
Т.Р. Рашидов, Е.В. Ан. Кучли зилзилаларда ер ости қувурларининг бузилишига грунтнинг қуйқаланишини таъсири.....	91
Р.Р. Худайкулиев, Н.Б. Джураева, З.Т. Холматова. Рамаси универсал бўлган кенг қамровли комбинацияланувчи агрегатлар жамланмасига схема танлаш ва лоиҳалаш.....	100
Х.А. Байбулатов, М.Ж. Бердибаев. Кўприк конструкцияларини нуқсонлари, бузилишлари ва уларнинг кўприкнинг эксплуатацион хоссаларига таъсири.....	103
Р.Б. Хусайнов. Ер ости магистрал қувурларини ҳисоблаш масалаларида энергиянинг тўлқин билан олиб кетилишини ҳисобга олиш тўғрисида.....	107

Хроника

Е.А. Исаханов, С.Х. Достанова. Геотехника ва иншоотлар зилзилабардошлигини шаклланиши ва ривожланишида Ўзбекистонлик олимларнинг ҳиссаси.....	111
Халқаро илмий-амалий конференция ҳақида.....	114
Ўзбекистонлик олимларнинг АЖ «ҚазйўЛИТИ» га ташири.....	115
Ўзбекистонлик делегациянинг АЖ «ҚазйўЛИТИ» жамоаси билан учрашуви баённомаси.....	116
“Назарий механика” фанининг биринчи ўзбек олимаси.....	117
Техника фанлари доктори, профессор Ҳамидхон Турсунович Аҳмадхўжаев 70 ёшда.....	118

СОДЕРЖАНИЕ

Х.С. Сагдиев, Д.А. Бекмирзаев. Научно-организационная деятельность Института механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева АН РУз в 2018 г.....	3
М.Н. Сидиков. Отклонения системы с кинематическими связями под действием постоянно действующих возмущений относительно опорной траектории.....	7
Р.Ш. Индиаминов, А.С. Наркулов. Исследование деформирования токнесущих ортотропных оболочек в нелинейной постановке.....	10
В.А. Лапин, С.Е. Ержанов, В.П. Даугавет. Сравнительный анализ эффекта сейсмоизоляции с использованием инструментальных записей станций инженерно-сейсмометрической службы	14
Т.Р. Рашидов, Б. Мардонов, И. Мирзаев. О колебаниях подземных трубопроводов под действием сейсмических волн.....	19
М.К. Усаров, Д.Ф. Руми, Г.Т. Аюбов. Определение динамических характеристик пластинчатой континуальной модели здания.....	24
М.Р. Бакиев, Н. Рахматов, А. Жаханов. Расчет водного баланса поверхностных вод Ферганской долины.....	28
З.М. Маликов, Ф.Х. Назаров, М.Э. Мадалиев. Численное моделирование обтекания плоской пластины турбулентным потоком воздуха с нулевым градиентом давления на основе k-ε моделей.....	33
А.А. Мирзоев, Я.Д. Ходжаев, М.Э. Мадалиев. Математическое моделирование процессов деформирования и течения высококонцентрированных суспензий в цилиндрических трубопроводах.....	38
Б.Х. Хужаёров, Ж.М. Махмудов, Ф.У. Сулаймонов. Фильтрация и перенос вещества в цилиндрической двухзонной пористой среде с учетом неоднородности поля скоростей фильтрации.....	43
Н.Б. Джураева. Численный анализ распределения давления и скорости движения куста хлопчатника через рабочую камеру хлопкоуборочного аппарата.....	48
Ш. Кенжабоев, В. Турдалиев. Разработка конструкции и методика расчета трения в кинематической паре пятого класса с продольными пазами.....	53
Ж. Мухамедов, В.М. Турдалиев, А.А. Косимов, А.А. Абдуллажонов. Кинематический анализ зубчато-ременной передачи с составным шкивом.....	56
М.Н. Салохиддинова, Р. Мурадов, А.И. Каримов. Исследование движения частиц хлопка в новой рабочей камере конструкции сепаратора	61
М.Н. Жураев, А.А. Тогаев, Ю.А. Шермухамедов. Решение задачи эффективного использования парка автопоездов при перевозке хлопка-сырца из заготовительных пунктов до хлопкоочистительных заводов методом линейного программирования.....	65
Ш.Р. Хуррамов, Г.А. Бахадиров, А. Абдукаримов. Анализ углов контакта двухвалкового модуля.....	68
О.И. Ражабов. Математическое моделирование параметров новых многогранных сетчатых поверхностей очистителей хлопка-сырца от мелкого сора	72
А.А. Ашрабов, Г.А. Касимова, Х. Алменов, М.А. Ашрабова. Преимущества и перспективы применения высокоэффективных и высокопрочных бетонов.....	77
Б.А. Собиров, Л.Й. Бакиров, Ш.А. Халимов, М.У. Тураев, А.Б. Джумабаев. К созданию установки для исследования релаксации напряжения в полимерных композиционных материалах с учетом трения и изнашивания.....	81

Научные сообщения

З.З. Ергашев, Ф.Э. Абдукодиров. О некоторых механических действиях на железнодорожном земляном полотне.....	86
Р.Д. Матчанов. Интеграция фундаментальной, прикладной, вузовской науки с производством на базе научно-технического кластера.....	88
Т.Р. Рашидов, Е.В. Ан. Влияние разжижения грунта на повреждения подземных трубопроводов при сильных землетрясениях.....	91
Р.Р. Худайкулиев, Н.Б. Джураева, З.Т. Холматова. Выбор компоновочных схем и проектирование широкозахватных комбинирующих агрегатов с универсальной рамой.....	100
Х.А. Байбулатов, М.Ж. Бердибаев. Дефекты и повреждения мостовых конструкций и их влияние на потребительские свойства мостов.....	103
Р.Б. Хусайнов. О необходимости учёта волнового уноса энергии в задачах расчёта подземных магистральных трубопроводов.....	107

Хроника

Е.А. Исаханов, С.Х. Достанова. Вклад ученых Узбекистана в становление и развитие геотехники и сейсмостойкости сооружений.....	111
О Международной научно-практической конференции.....	114
Ученые Узбекистана посетили АО «КаздорНИИ»	115
Протокол встречи делегации из Узбекистана с коллективом АО «КаздорНИИ».....	116
Первая узбекская учёная в области “Теоретической механики”	117
Доктору технических наук, профессору Хамидхону Турсунвичу Ахмаджужаеву – 70 лет.....	118

