

Машина жасау, технологиялық машиналар және көлік, құрылысDOI: <https://doi.org/10.53002/094>**INNOVATIVE METHODS OF RESTORATION OF PIPELINE SYSTEMS: THE USE OF POLYMER-COMPOSITE SLEEVES-LINERS THAT HARDEN WITH ULTRAVIOLET****Yurchenko V.V.***NPJSC “Abylkas Saginov Karaganda Technical University”, Karaganda, Kazakhstan***Corresponding author e-mail: v.yurchenko@kstu.kz***Author information:****Yurchenko Vasily Viktorovich**, NPJSC “Abylkas Saginov Karaganda Technical University”, Karaganda, Kazakhstan, e-mail: v.yurchenko@kstu.kz

Abstract — The article is devoted to the study of modern methods of pipe restoration with an emphasis on the technology of restoration using polymer-composite sleeve liners that self-harden under the influence of ultraviolet radiation. The features of this technology, its advantages and areas of application, including water supply, sewerage and industrial networks, are considered. Particular attention is paid to environmental and economic aspects, as well as to the analysis of factors influencing the choice of recovery method. The steps of the restoration process are presented, which include pre-cleaning, installation of lining and treatment, which ensures the strength and reliability of engineering systems. The results of the study can be used to optimize pipeline repair methods in dense urban areas and difficult working conditions.

Keywords — pipes, recovery, sleeve lining, ultraviolet radiation, recovery, corrosion, hydraulic characteristics, engineering networks, environmental safety, economic efficiency.

ҚҰБЫР ЖҮЙЕЛЕРІН ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУДІҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІ: УЛЬТРАКҮЛГІНМЕН ҚАТАЯТЫН ПОЛИМЕР-КОМПОЗИТТІ ГИЛЬЗА-ЛАЙНЕРЛЕРДІ ҚОЛДАНУ**Юрченко В.В.***«Ә.Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қарағанды, Қазақстан***Автор-корреспондент e-mail: v.yurchenko@kstu.kz***Автор туралы ақпарат:****Юрченко Василий Викторович**, «Ә.Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қарағанды, Қазақстан, e-mail: v.yurchenko@kstu.kz

Аңдатпа — Мақала ультракүлгін сәулеленудің әсерінен өздігінен қататын полимерлі-композитті гильза төсеніштерін қолдану арқылы қалпына келтіру технологиясына баса назар аудара отырып, құбырларды қалпына келтірудің заманауи әдістерін зерттеуге арналған. Бұл технологияның ерекшеліктері, оның артықшылықтары мен қолдану аймақтары, соның ішінде сумен жабдықтау, канализация және өнеркәсіптік желілер қарастырылады. Экологиялық және экономикалық аспектілерге, сондай-ақ қалпына келтіру әдісін таңдауға әсер ететін факторларды талдауға ерекше назар аударылады. Инженерлік жүйелердің беріктігі мен сенімділігін қамтамасыз ететін алдын ала тазалауды, төсемді орнатуды және емдеуді қамтитын қалпына келтіру процесінің қадамдары ұсынылған. Зерттеу нәтижелері тығыз қалалық жерлерде және қиын жұмыс жағдайында құбырларды жөндеу әдістерін оңтайландыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер — құбырлар, қалпына келтіру, гильзалық төсем, ультракүлгін сәулелену, қалпына келтіру, коррозия, гидравликалық сипаттамалар, инженерлік желілер, экологиялық қауіпсіздік, экономикалық тиімділік.

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРУБНЫХ СИСТЕМ: ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНО-КОМПОЗИТНЫХ ГИЛЬЗ-ЛАЙНЕРОВ С УФ-ОТВЕРЖДЕНИЕМ

Юрченко В.В.

НАО «Қарағандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Қарағанда, Қазақстан

*Автор-корреспондент e-mail: v.yurchenko@kstu.kz

Информация об авторе:

Юрченко Василий Викторович, НАО «Қарағандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Қарағанда, Қазақстан, e-mail: v.yurchenko@kstu.kz

Аннотация — Статья посвящена изучению современных методов восстановления труб с упором на технологию восстановления с использованием полимерно-композитных гильзовых матов, которые самопроизвольно затвердевают под воздействием ультрафиолетового излучения. Рассматриваются особенности данной технологии, ее преимущества и области применения, включая водоснабжение, канализацию и промышленные сети. Особое внимание уделяется экологическим и экономическим аспектам, а также анализу факторов, влияющих на выбор метода восстановления. Предложены этапы процесса восстановления, которые включают предварительную очистку, установку и отверждение асфальтоукладчика, что обеспечивает прочность и надежность инженерных систем. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации методов ремонта трубопроводов в густонаселенных городских районах и в сложных рабочих условиях.

Ключевые слова — трубы, восстановление, гильзовая прокладка, ультрафиолетовое излучение, восстановление, коррозия, гидравлические характеристики, инженерные сети, экологическая безопасность, экономическая эффективность.

НЕГІЗГІ ЕРЕЖЕЛЕР

Мақалада құбыр желілерін қазусыз қалпына келтірудің заманауи технологияларына талдау жүргізіліп, ультракүлгін сәулелену әсерінен қатайтылатын полимерлі-композиттік лайнер-гильзаларды қолдану әдісінің ерекшеліктері қарастырылды. Технологияның инженерлік, экономикалық және экологиялық артықшылықтары бағаланып, оны пайдалану тиімділігіне әсер ететін негізгі факторлар жүйеленді. Полимерлі-композиттік лайнерлерді қолдану құбырлардың пайдалану мерзімін ұзартуға, жөндеу жұмыстарының ұзақтығы мен құнын төмендетуге, гидравликалық сипаттамаларды жақсартуға және қоршаған ортаға түсетін әсерді азайтуға мүмкіндік беретіні көрсетілді. Сонымен қатар бұл технологияның тығыз қалалық құрылыс жағдайында және инженерлік коммуникациялары күрделі учаскелерде қолдануға жоғары тиімділігі негізделді.

КІРІСПЕ

Қазіргі заманғы инженерлік желілер экономиканың әртүрлі салаларының үздіксіз жұмысын және халықтың өмірін қамтамасыз етуді қамтамасыз ететін инфрақұрылымның негізгі элементтері болып табылады [1-3].

Канализация жүйелерін, мұнай, газ, су және технологиялық құбырларды салу үшін ең көп

таралған материал көміртекті және төмен легирленген болат болып табылады, сонымен қатар шойыннан, бетоннан және басқа материалдардан жасалған құбырлар қолданылады; Бұл материалдар жұмыс кезінде коррозияға және ішкі шөгінділерге жоғары төзімділікке ие емес [4].

Зерттеудің маңыздылығы. Инженерлік құбыр жүйелерінің едәуір бөлігі ұзақ уақыт пайдаланылуына байланысты коррозияға, абразивті тозуға және ішкі шөгінділердің жиналуына ұшырайды. Дәстүрлі жөндеу әдістері көп жағдайда жер қазу жұмыстарының үлкен көлемін, жоғары қаржылық шығындарды және инфрақұрылым жұмысының уақытша тоқтатылуын талап етеді. Осыған байланысты құбырларды қазусыз қалпына келтіру технологиялары ерекше өзектілікке ие. Ультракүлгін сәулемен қатайтылатын полимерлі-композиттік лайнер-гильзаларды пайдалану жөндеу мерзімін қысқартуға, инженерлік желілердің қызмет ету мерзімін ұзартуға, пайдалану шығындарын азайтуға және қоршаған ортаға әсерді төмендетуге мүмкіндік береді.

Зерттеудің жаңалығы. Зерттеудің ғылыми жаңалығы ультракүлгін сәулелену әсерінен қатайтылатын полимерлі-композиттік лайнер-гильзаларды пайдалану технологиясының техникалық және пайдалану ерекшеліктерін кешенді бағалауда жатыр. Технологияны

қолданудың негізгі артықшылықтары жүйеленіп, оны инженерлік желілердің әртүрлі түрлерінде пайдалану мүмкіндіктері айқындалды. Сонымен қатар лайнердің геометриялық параметрлерін таңдау кезінде құбырдың техникалық жағдайын, жұмыс қысымын және пайдалану ортасының ерекшеліктерін ескерудің маңыздылығы көрсетілді.

ӘДІСТЕР МЕН МАТЕРИАЛДАР

Ағынды суларды қысымды кәріз және, атап айтқанда, гравитациялық кәріз желілері арқылы тасымалдау кезінде құбыр қабырғалары ағынды сулардың құрамындағы газдар мен агрессивті орталардың әсеріне ұшырайды, бұл қабырғалардың бұзылуына әкеледі, кейіннен ағып кетуге және нәтижесінде төтенше жағдайларға әкеледі.

Тасымалданатын орта қаттылық тұздарымен, асфальт-парафинді қосылыстармен, коррозиялық қоспалармен және механикалық қоспалармен қаныққан жағдайда құбырлар қабырғалардың айтарлықтай коррозиясына, абразивті тозуға және ішкі бетінде шөгінділерге ұшырайды. Құбыр қабырғаларының коррозиясы құбырдың

герметикалығын жоғалтуға, тасымалданатын ортаның ағып кетуіне әкеледі, бұл адам өмірінің қауіпсіздігіне және қоршаған ортаның ластануына қауіп төндіреді.

Құбырлардың ішкі бетіндегі шөгінділер тасымалданатын ортаның гидравликалық кедергісінің жоғарылауына әкеледі, бұл сорғы және технологиялық жабдықтың жүктемесін арттырады. Кейіннен шөгінділер құбырлардың толық бітелуіне әкелуі мүмкін, бұл технологиялық жабдықтың істен шығуымен және қоршаған ортаға және адамдарға теріс әсер ететін төтенше жағдайлардың туындауымен жүретін ортаны тасымалдау процесінің толық тоқтауына әкеледі [5].

Құбырлардың жұмысы, әсіресе агрессивті ортада және жоғары жүктемелерде, олардың бірте-бірте тозуымен бірге жүреді, бұл пайдалану сипаттамаларын төмендетеді және авария қаупін арттырады (Сурет 1).

Бұл мәселелер, әсіресе, ауқымды жөндеу үшін шектеулі мүмкіндіктер қалпына келтірудің инновациялық технологияларын қолдануды талап ететін қалалық орталарда өзекті болып табылады.



Сурет 1 – Шөгінділер мен коррозиямен құбырдың ішкі бетінің кимасы.

Полимерлі материалдар агрессивті орта мен тұз шөгінділеріне ең жақсы төзімділікке ие. Алайда, тығыз қала құрылысының тар жағдайларына немесе байланысты және/немесе қиылысатын коммуникациялардың қанықтылығына байланысты болат, шойын, бетон және басқа құбырларды полимерлік құбырларға ауыстыру көбінесе техникалық қиын және экономикалық тиімсіз.

Мұндай жағдайларда құбырларды жөндеудің, функционалдығын қалпына келтірудің және қызмет ету мерзімін ұзартудың ең тиімді жолы әртүрлі қалпына келтіру әдістерін қолдану болып табылады - құбыр қабырғаларының коррозиясын және ішкі

бетіндегі шөгінділерді болдырмайтын жабындарды қолдану арқылы ішкі бетті қорғау.

Құбырларды қалпына келтіру инженерлік жүйелердің қызмет ету мерзімін ұзартуға, шығындарды азайтуға және жөндеу және қалпына келтіру жұмыстарына қажетті уақытты қысқартуға тиімді тәсіл болып табылады. Қолданыстағы әдістердің ішінде полимер-композиттік материалдарды қолдануға негізделген технологиялар ерекше назар аударады. Перспективті шешімдердің бірі электромагниттік (ультрақұлгін) сәулеленудің әсерінен өздігінен қатайтатын полимерлі-композициялық лайнер гильзаларын пайдалану болып табылады. Бұл әдіс сенімділікті,

үнемділікті және экологиялық қауіпсіздікті біріктіреді, бұл оны қолданудың әртүрлі салаларында сұранысқа ие етеді.

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Бұл мақалада полимерлі-композитті төсеніш гильзаларын қолдану арқылы құбырларды қалпына келтіру әдісінің ерекшеліктері мен артықшылықтары қарастырылады, сонымен қатар құбыр жүйесінің күйіне және оның жұмыс жағдайларына байланысты технологияны таңдауды анықтайтын факторларға талдау жасалады. Зерттеу ең аз шығындармен және қоршаған ортаға теріс әсер ететін инженерлік желілердің ұзақ мерзімділігін арттырудың оңтайлы шешімдерін анықтауға бағытталған.

Халықаралық классификацияға сәйкес құбырларды қалпына келтіруге арналған ішкі қорғаныс жабындары келесі түрде жасалуы мүмкін [6]:

1. коррозиядан қорғайтын және жақсартылған гидравликалық өнімділікті қамтамасыз ететін шашырау қабаттары,

2. құбырдың бүкіл ұзындығы бойынша бір қорғаныс қабатын жасайтын үздіксіз жабындар;

3. конструкцияның қосымша беріктігі мен тығыздығын қамтамасыз ететін спиральды қаптамалар;

4. жекелеген ақаулы аймақтарды жөндеу үшін қолданылатын нүктелік (жергілікті) жабындар.

Құбыр желілерін қалпына келтіруге арналған қолданыстағы технологиялардың кең спектрінің ішінде ең көп таралғандарын бөліп көрсету керек:

1. Ішкі бетті цемент-құм қоспасымен қаптау. Бұл әдіс коррозияға ұшыраған құбырларды

қалпына келтіру үшін қолданылады. Қаптау құбыр қабырғаларының одан әрі бұзылуына жол бермейтін және оның жұмыс сипаттамаларын жақсартатын қорғаныс қабатын жасайды.

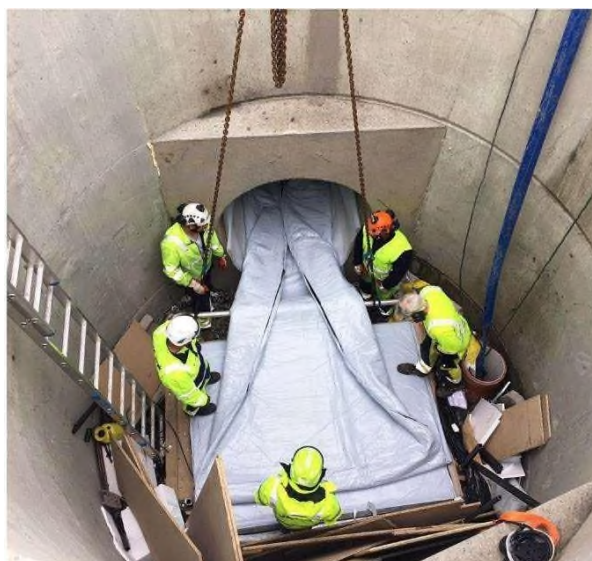
2. Тозғанның ішіне жаңа полиэтилен құбырын тарту. Бұл технологияның екі нұсқасы бар: ескі құбырды бұзумен және онсыз. Бірінші жағдайда, жаңа құбырды тарту алдында ескі құбырды жою үшін пневматикалық соққылар сияқты арнайы механизмдер қолданылады. Екінші жағдайда, жаңа құбыр гидроқшаулағыш және тығыздау функцияларын орындайтын бұрыннан бар құбырдың ішіне орналастырылады.

3. Серпімді полимер құбыр арқылы тарту. Бұл әдіс алдын ала бүктелген немесе тартылған құбырды пайдалануды қамтиды, ол қалпына келтірілетін құбырдың ішіне орнатқаннан кейін қажетті пішінді алады. Бұл жер қазу жұмыстарына кететін шығындарды барынша азайтуға мүмкіндік береді және жұмысты аяқтауға кететін уақытты қысқартады.

4. Тісті жабыстырғыш құрылымы бар қаңылтыр материалдан жасалған серпімді компоненттерді пайдалану. Бұл тәсіл құбырдың учаскелерін жылдам және сенімді қалпына келтіруге, берік және берік байланыстарды жасауға мүмкіндік береді.

5. Серпімді құрама жеңдерді қолдану. Бұл гильзалар бар құбырдың ішінде жаңа композиттік құбыр жасайды. Олар жоғары беріктікке, төзімділікке және агрессивті ортаға төзімділікке ие.

6. Тар орамды ораманы қолдану. Бұл әдіс тозған құбырдың ішкі бетіне оралып, жаңа қорғаныс қабатын жасайтын шексіз профильді таспаларды қолдануды қамтиды.



Сурет 2 – Электромагниттік (ультрақұлгін) сәулеленудің әсерінен өзін-өзі емдейтін полимерлі-композитті жеңді төсемді қолдану арқылы қалпына келтіру әдісі.

Манжеттерді қолданатын әдістердің бірі құбырларды қалпына келтірудің қазіргі заманғы инновациялық технологияларына жататын электромагниттік (ультракүлгін) сәулелену әсерінен өздігінен қатаю, полимер-композициялық лайнер гильзасымен құбырларды қалпына келтіру (Сурет 2).

Әдістің ерекшеліктері:

1. Ультракүлгін сәулеленуді пайдалану материалдың қатаю уақытын айтарлықтай қысқартуға мүмкіндік береді.
2. Полимерлі-композиттік гильза механикалық және химиялық әсерлерге төзімді қабат жасайды, құбырдың қызмет ету мерзімін арттырады.
3. Технология ауқымды қазба жұмыстарын қажет етпейді, бұл оны тығыз қалалық жерлерде пайдалану үшін өте қолайлы етеді.
4. Әдіс әртүрлі мақсаттарға арналған құбырларды қалпына келтіруге жарамды, соның ішінде сумен жабдықтау, кәріз және өндірістік желілер.
5. Технологияның икемділігі мен бейімділігі оны қол жетімділігі шектеулі қиын аймақтарда да қолдануға мүмкіндік береді.

Полимерлі композициялық жеңді лайнерді қалпына келтіру әдісінің артықшылықтары:

1. Жең қатайғаннан кейін өздігінен жүретін құрылымның жоғары беріктігі,
 2. Басқа әдістермен салыстырғанда гильзаның ең аз қалыңдығына байланысты қалпына келтіруден кейін құбырдың көлденең қимасының минималды қысқаруы,
 3. Зауыттық дизайнға орнатуға толығымен дайын өнімді жеткізу,
 4. Монтаждау жұмыстарының жоғары жылдамдығы (8-14 сағатта 100 м),
 5. Тегіс ішкі беті ағынның сырғуын жақсартады,
 6. Құбырлардың кез келген пішіні мен қимасын пайдалану мүмкіндігі,
- Тікелей гильзаның сыртқы диаметрі мен қабырғасының қалыңдығы құбырдың геометриялық өлшемдеріне, сондай-ақ егер бар болса, жер асты суларының деңгейіне сәйкес таңдалады [7]. Параметрлерді таңдау дұрыстығы есептеу арқылы расталады (Сурет 3).



Сурет 3 – Электромагниттік (ультракүлгін) сәулелену әсерінен өздігінен қатайтатын лайнер гильзасымен қалпына келтіруден кейінгі құбырдың ішкі беті.

Полимерлі-композиттік гильзаларды қолдану арқылы қалпына келтіру сияқты инновациялық әдістерді қолдану инженерлік желілерді қайта құру саласында жаңа перспективалар ашады. Әрі қарайғы зерттеулер технологияны оңтайландыруға, беріктігін арттыру үшін жаңа материалдарды әзірлеуге және әдістерді әртүрлі жұмыс жағдайларына бейімдеуге бағытталған.

Бұл тәсілдер инженерлік жүйелердің сенімділігі мен ұзақ мерзімділігін қамтамасыз етеді, шығындарды барынша азайтады және жұмысты

аяқтауға кететін уақытты қысқартады, бұл әсіресе тығыз қалалық жерлерде маңызды [8-10].

ҚОРЫТЫНДЫ

Мақалада қарастырылған құбырларды қалпына келтірудің заманауи технологиялары күрделі пайдалану талаптарында жоғары тиімділікті көрсетеді. Ультракүлгін сәулеленудің әсерінен өздігінен қатайтатын полимерлі-композициялық гильза төсеніштерін пайдалану әдісіне ерекше назар аударылады.

Әдістің артықшылықтарын талдау, оның ішінде оның экологиялық қауіпсіздігі, жұмысты

аяқтауға кететін уақытты қысқарту және қолданудың әмбебаптығы оны әртүрлі мақсаттарда инженерлік жүйелерде пайдалану перспективаларын растайды. Технологияны енгізудің ұсынылған кезеңдері, лайнер гильзаларын тазалаудан бастап емдеуге дейін, оны әртүрлі жұмыс жағдайларына, соның ішінде қолжетімділігі шектеулі қалалық желілерге бейімдеуге мүмкіндік береді.

Болашақ зерттеулер осы әдісті оңтайландыруға, қасиеттері жақсартылған жаңа композиттік материалдарды әзірлеуге және коррозияның жоғары жағдайында және күрделі климаттық жағдайларда пайдалану үшін технологияларды бейімдеуге бағытталады. Бұл міндеттерді іске асыру инфрақұрылымдық жүйелердің тиімділігін және олардың сыртқы әсерлерге төзімділігін арттыруға ықпал етеді.

МҮДДЕЛЕР ҚАҚТЫҒЫСЫ

Автор осы зерттеуді орындау және мақаланы жариялау барысында мүдделер қайшылығы жоқ екенін мәлімдейді.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ

Авторлар осы зерттеуді орындау кезінде сыртқы қаржыландырудың жоқтығын мәлімдейді.

АЛҒЫС

Автор қолжазбаны мұқият қарастырып, мақаланың мазмұны мен сапасын едәуір жақсартуға мүмкіндік берген құнды ескертулері мен ұсынымдары үшін журналдың редакторы мен рецензентіне шынайы алғысын білдіреді.

Авторлық құқық © 2025 автор(лар)ға тиесілі. Бұл мақала Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) лицензиясы бойынша ашық қолжетімді болып табылады. Лицензия түпнұсқа еңбекке тиісті түрде сілтеме жасалған жағдайда, кез келген ортада пайдалануға, таратуға және қайта жариялауға рұқсат береді. Туынды материалдар осы лицензияның дәл осындай шарттарымен таратылуы тиіс.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. *Manufacturing Engineering and Technology*, 8th ed. Pearson, 2023.
- [2] Najafi, M. *Trenchless Technology: Pipeline and Utility Design, Construction, and Renewal*, 2nd ed. McGraw-Hill, 2022.
- [3] Stein, D. (Ed.). *Rehabilitation and Renovation of Pipelines*. Wiley, 2022.
- [4] Matthews, J., & Allouche, E. *Cured-in-Place Pipe (CIPP): Design, Materials and Installation Technologies*. ASCE Press, 2023.
- [5] Wang, Y., Li, X., Zhang, H., et al. "Recent Advances in UV-Cured Glass-Fiber Reinforced Composite Liners for Trenchless Pipeline Rehabilitation." *Construction and Building Materials*, vol. 381, 2023, Art. 131282.
- [6] Zhang, Y., Chen, Z., Liu, H., et al. "Performance Evaluation of UV-Cured Composite Liners for Water Distribution Pipelines." *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 139, 2024, Art. 105214.
- [7] Zhao, L., Wang, Q., & Li, J. "Mechanical Performance and Durability of UV-Cured Glass Fiber Reinforced Composite Liners." *Composite Structures*, vol. 337, 2024, Art. 118216.
- [8] ASTM F2019-22. *Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Pulled-in-Place Installation of Glass Reinforced Plastic (GRP) Cured-in-Place Thermosetting Resin Pipe (CIPP)*. ASTM International, 2022.
- [9] ISO 11296-4:2023. *Plastics Piping Systems for Renovation of Underground Non-pressure Drainage and Sewerage Networks — Part 4: Lining with Cured-in-Place Pipes*. ISO, 2023.
- [10] EN ISO 11295:2023. *Classification and Information on Design and Applications of Plastics Piping Systems Used for Renovation and Replacement*. ISO, 2023.

REFERENCES

- [1] Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. *Manufacturing Engineering and Technology*, 8th ed. Pearson, 2023.
- [2] Najafi, M. *Trenchless Technology: Pipeline and Utility Design, Construction, and Renewal*, 2nd ed. McGraw-Hill, 2022.
- [3] Stein, D. (Ed.). *Rehabilitation and Renovation of Pipelines*. Wiley, 2022.
- [4] Matthews, J., & Allouche, E. *Cured-in-Place Pipe (CIPP): Design, Materials and Installation Technologies*. ASCE Press, 2023.
- [5] Wang, Y., Li, X., Zhang, H., et al. "Recent Advances in UV-Cured Glass-Fiber Reinforced Composite Liners for Trenchless Pipeline Rehabilitation." *Construction and Building Materials*, vol. 381, 2023, Art. 131282.
- [6] Zhang, Y., Chen, Z., Liu, H., et al. "Performance Evaluation of UV-Cured Composite Liners for Water Distribution Pipelines." *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 139, 2024, Art. 105214.

- [7] Zhao, L., Wang, Q., & Li, J. "Mechanical Performance and Durability of UV-Cured Glass Fiber Reinforced Composite Liners." *Composite Structures*, vol. 337, 2024, Art. 118216.
- [8] ASTM F2019-22. *Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Pulled-in-Place Installation of Glass Reinforced Plastic (GRP) Cured-in-Place Thermosetting Resin Pipe (CIPP)*. ASTM International, 2022.
- [9] ISO 11296-4:2023. *Plastics Piping Systems for Renovation of Underground Non-pressure Drainage and Sewerage Networks — Part 4: Lining with Cured-in-Place Pipes*. ISO, 2023.
- [10] EN ISO 11295:2023. *Classification and Information on Design and Applications of Plastics Piping Systems Used for Renovation and Replacement*. ISO, 2023.