

УДК 004.421

DOI 10.52167/1609-1817-2023-129-6-327-338

**В.А. Лахно<sup>1</sup>, П. Малюков<sup>1</sup>, Д.Р. Куандықова<sup>2</sup>, Л.М. Туқенова<sup>3</sup>, Р.А. Аленова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ұлттық биоресурстар және табиғатты пайдалану университеті, Киев, Украина

<sup>2</sup>Тұран университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>Ғ. Дәукеев атындағы Алматы байланыс және энергетикалық университеті,  
Алматы, Қазақстан

E-mail: raya.alenova@bk.ru

## SMART CITY ҮШІН ТЕХНОЛОГИЯНЫ ИНВЕСТИЦИЯЛАУДЫҢ ҰТЫМДЫ СТРАТЕГИЯСЫН ТАҢДАУДЫҢ ГИБРИДТІ ӘДІСІ

**Аңдатпа.** Бұл мақалада алғаш рет ұтымды инвестициялық стратегияны таңдаудың және ойын теориясы мен генетикалық алгоритмнің (ГА) үйлесімі негізінде Smart City жобаларына инвестицияның әртүрлі бағыттарының кірістілігінің болжамды бағасын алуының гибриді әдісі сипатталған. Зерттеу процесінде бұл гибриді әдістің бірінші кезеңінде тек екі сызықты динамикалық сапа ойындарының аппаратын қолдану инвестордың стратегиясына сәйкес келетін әрбір нүкте белгілі бір инвестициялық құрамдас бөліктердің жиынтығы болатын нәтиже беретіні көрсетілді. Бұл құрамдас бөліктер әртүрлі жергілікті Smart City дамыту жобаларын іске асыруға бағытталған олардың қаржылық ресурстарына сәйкес келеді, мысалы, денсаулық сақтау, көлік, экология, қауіпсіздік және т.б. Бірнеше терминалдык беттері бар екі сызықты динамикалық сапа ойыны үшін дифференциалдық теңдеулер жүйесін қолдануға негізделген шешімдердің өзі инвесторлардың терминалдык беттеріндегі нүктелер үшін опциялардың жеткілікті үлкен шашырауын беретіні көрсетілген. Бұл осы нүктелерді талдауға және инвестордың қалауы аймағын іздеуге қосымша уақыт бөлу қажеттілігін талап етеді. «Smart City» жобаларына инвестициялаудың ұтымды стратегиясын таңдаудың ұсынылған гибриді әдісінің екінші кезеңінде ГА қолдану жоғарыда аталған кемшілікті жоятыны және әлеуетті инвесторлар үшін дәлірек нәтиже беретіні көрсетілген.

**Түйінді сөздер.** Smart City, гибридік әдіс инвестициясы, генетикалық алгоритм.

### **Кіріспе.**

XX ғасырда есептеу техникасының қарқынды дамуы нақты процестерді көрсететін және шешім қабылдаушыларға өздері айналысатын пәндік салаларды жақсырақ түсінуге және бұрын тым күрделі деп есептелетін мәселелерді шешуге мүмкіндік беретін күрделі экономикалық және математикалық әдістер мен модельдерді әзірлеуге және пайдалануға ықпал етті. Оңтайландыру мәселелері компьютерлердің көмегімен тиімді шешілген ең кең таралған мәселелердің біріне айналды.

Айта кету керек, адамдар күнделікті өмірде және бизнесте үнемі осындай міндеттерге тап болады. Оңтайлы шешімді табу үшін, оның ішінде Smart City технологияларындағы инвестициялық стратегияларды таңдау мәселелеріне байланысты, оларды бағдарламалық қамтамасыз етуді жеке (тәуелсіз) бағдарламалық өнім түрінде енгізу арқылы арнайы әзірленген математикалық әдістер мен модельдерді қолданған жөн. немесе бар бағдарламалық өнім үшін арнайы жасалған модуль. Экономиканың әртүрлі салаларындағы мәселелерді шешу үшін қолдануға болатын әмбебап модельдеу құралдарының ерекше құндылығы бар.

Мұндай құралдарға генетикалық алгоритмдер (ГА) – биологиялық эволюция принциптеріне негізделген адаптивті әдістер жатады. Олардың негізгі артықшылықтары белгілі бір жағдайларда қанағаттанарлық шешімді табуының салыстырмалы түрде жоғары

жылдамдығы және бірегей жұмыс тәсілі: айқасу, таңдау, мутация және басқа генетикалық операторлар механизмдерін жүзеге асыру арқылы алгоритм келесі «ұрпақтар» арқылы өтеді. ол оңтайлы нәтижені тапқанша немесе белгілі бір уақыт көлемі біткенше шешімдердің немесе оның жұмысына тағайындалған циклдердің.

Генетикалық алгоритмдер оңтайландыру мәселелерін шешудің тиімді құралы болып табылады, бірақ күрделі жобалардың инвестициялық тартымдылығын бағалауға байланысты тапсырмаларда әлі кеңінен қолданыла қойған жоқ. Бұл, атап айтқанда, осы құралдар жинағының жұмысына тән бірқатар шектеулерге, сондай-ақ оларды бағдарламалық қамтамасыз етуді енгізу қажеттілігіне байланысты, бұл ГА принциптерін және оны алгоритмдік жүйеде енгізу ерекшеліктерін жеткілікті терең түсінуді талап етеді. тілдер. ГА артықшылықтары мен кемшіліктері егжей-тегжейлі сипатталған, атап айтқанда, [1, 2].

### Әдеби шолу.

Қазіргі уақытта ГА-ға арналған ғылыми еңбектердің көпшілігі ГА-ны практикалық қолданудың белгілі бір мәселелерін зерттейді және ГА-ның кейбір модификацияларын ұсынады. Осы жұмыстардың ішінде басым көпшілігі логистика мәселелеріне арналған. Мысалы, [3]-те порт операторы үшін оңтайлы тасымалдау бағыттарын анықтауға арналған есептерді шешу үшін қолдануға болатын әдістер зерттеледі [3].

[4] жұмысында ГА көмегімен логистикалық желілердегі шығындарды оңтайландыру мәселелері қарастырылған. Авторлар шикізат, өндіріс, тауарлық-материалдық қорлар, тараптар арасындағы тасымалдау және негізгі операциялық шығындарды есепке алатын және тәжірибе жүзінде дәлелденген нақтыға біршама жақын логистикалық желіні модельдеуге мүмкіндік беретін математикалық модельді ұсынды.

[5] логистикалық желіні оңтайландыру үшін ГА модификациясы ұсынылды, ол құрылымы бойынша нақты кәсіпорындардың желілеріне ұқсас. Бұл жұмыс желіні оңтайландырудың классикалық мәселесіне жаңа тәсілді – тасымалдау мәселесін ұсынады. Маршруттан өтетін көлікті басқару және дәл емес немесе толық емес ақпаратты басқару анық емес жиындар теориясы арқылы, ал бөлінген желіні оңтайландыру ГА көмегімен жүзеге асырылады.

Жұмыс [6] ГА сәтті қолданылуы мүмкін бірқатар мәселелерді ұсынады және оңтайландыру үшін айнымалылар мен мақсаттық функцияның және ГА мәндерін көрсету үшін анық емес логиканы қолдану арқылы ең арзан логистикалық бағытты анықтау мәселесінің шешімін ұсынады.

[7] авторлар ресурстарды жоспарлау және тиімді бөлу мәселелерін шешу үшін ГА құралдарын қолданудың мақсатқа сай екендігін негіздейді және мұндай есептерді шешудің сәйкес математикалық моделін ұсынады.

[6-9] құжаттарда инвестордың стратегиясын таңдауға байланысты мәселелерді шешу үшін ГА пайдалану мүмкіндіктері қарастырылады. Бұл жарияланымдарда ГА оңтайлы шешімге үміткер болып табылатын популяцияны (хромосомалар тобын) сақтайды.

Жоғарыда аталған және басқа да жұмыстарды талдау ГА оңтайландыру мәселелерін шешудің тиімді құралы болып табылатынын көрсетті, бұл Smart City технологияларында ұтымды инвестициялық стратегияларды таңдаудың екінші кезеңінің құралы ретінде ГА таңдауға әкелді.

Шынында да, егер Smart City технологияларында инвестициялық стратегияларды іздеу кезеңінен кейін біз бақылау параметрлері кеңістігі мен критерийлер кеңістігі үшін жоғары өлшемді алсақ, онда инвестициялау ерекшеліктерін ескеретін құрал қажет. Smart City дамыту жобаларында. Атап айтқанда, дөңес еместік және бақылау параметрлері кеңістігінде үзілістердің болуы. [10, 11] келтірілген есептеулерден көрініп тұрғандай,

күрделі инвестициялық жобаларды талдау үшін тек ойын үлгісін оның таза түрінде пайдалану біржақты оң нәтиже бермейді. Бұл осы кластағы мәселелерді шешудің жаңа тәсілдерін қалыптастыру қажеттілігін өзекті етеді. Мысалы, ГА пайдалану негізінде. Бұл тәсіл арқылы инвесторлар ГА-ның барлық дерлік артықшылықтарын жүзеге асыруға мүмкіндік алады, атап айтқанда: оның туынды немесе басқа қосымша ақпаратын емес, мақсатты функцияны пайдалану; әртүрлі бағыттағы оңтайлы мәндерді іздеу кеңістігін егжей-тегжейлі зерттеңіз; іздеу аймағы шексіз және/немесе уақыт өте өзгертін, сонымен қатар көптеген жергілікті оптимумдары бар жағдайға зерттеу жүргізу; көптеген параметрлермен және бірнеше объективті функциялармен бір уақытта жұмыс істеу қажет болғанда зерттеу жүргізу және мәселенің ымыраға келу шешімін қамтамасыз ету, әсіресе инвесторлардың көптеген қалауларын ескеру қажет болған жағдайда; фитнес функциясын пайдаланып зерттеу жүргізу және шешімді жақсарту үшін әрбір қадамды бағыттау үшін қосымша ақпаратты қажет етпеу.

[12] авторлар муниципалитеттердің көпшілігінде негізінен қалалық инфрақұрылымды дамытудың қысқа мерзімді болжамдарын әзірлейтінін көрсетті. Smart City үшін әртүрлі инвестициялық жобаларды дамыту динамикасы мен перспективалары туралы болжамды бағалаулардың, әртүрлі жобалар мен бағыттарды дамытудың ұтымды немесе оңтайлы нұсқаларының болмауы, жалпы алғанда, дамытудың басым бағыттарын дұрыс таңдамауға әкелуі мүмкін. қалалық инфрақұрылым. Немесе инвестициялық жобалардан қаражат бөлудің дұрыс емес стратегиясымен байланысты қиындықтар туғызады. Бұл болжау функциясының әлеуетін күшейту қажеттілігін білдіреді, мысалы, ГА пайдалану негізінде.

Жоғарыда айтылғандар Smart City жобаларына қаржылық инвестициялаудың ұтымды стратегияларын анықтау тапсырмаларында зияткерлік ақпараттық жүйелерге (ЗАЖ) арналған ГА негізіндегі жаңа үлгілерді әзірлеу қажеттілігіне байланысты мәселені анықтады. Осы тақырып бойынша жарияланымдарды талдау Smart City дамыту жобаларында инвесторлар үшін ұтымды стратегияларды таңдау міндеттерінде ГА (бұдан әрі ГА) одан әрі дамыту мәселелерінің өзектілігін растады.

### **Материалдар мен тәсілдер.**

Зерттеу барысында келесі әдістер қолданылды: Smart City-тегі инвесторлардың стратегияларын талдау барысында көпөлшемді шешімдер кеңістігіндегі объектілердің өзара әрекеттесуін сипаттайтын ойын теориясы; эволюциялық модельдеу (ГА) іздеу аймағы шексіз және/немесе уақыт өте өзгертін, сонымен қатар көптеген жергілікті оптимумдарға ие болған жағдайда әртүрлі бағыттағы оңтайлы мәндерді іздеу кеңістігін зерттеу.

Smart City дамыту жобаларына инвестициялаудың ұтымды стратегиясын табу міндетін талдай отырып, оны екі кезеңде шешу ұсынылады.

Бірінші кезеңде көпөлшемді шешім кеңістігіндегі объектілердің өзара әрекеттесуін сипаттауға арналған екісызықты дифференциалдық ойындардың [10, 11] потенциалы пайдаланылады. Дегенмен, бұл әдіс өте еңбекқор және шешім табу үшін көп уақытты қажет етеді. Сондықтан екінші кезеңде жылдам модификацияланған ГА потенциалын пайдалану ұсынылды [1, 2].

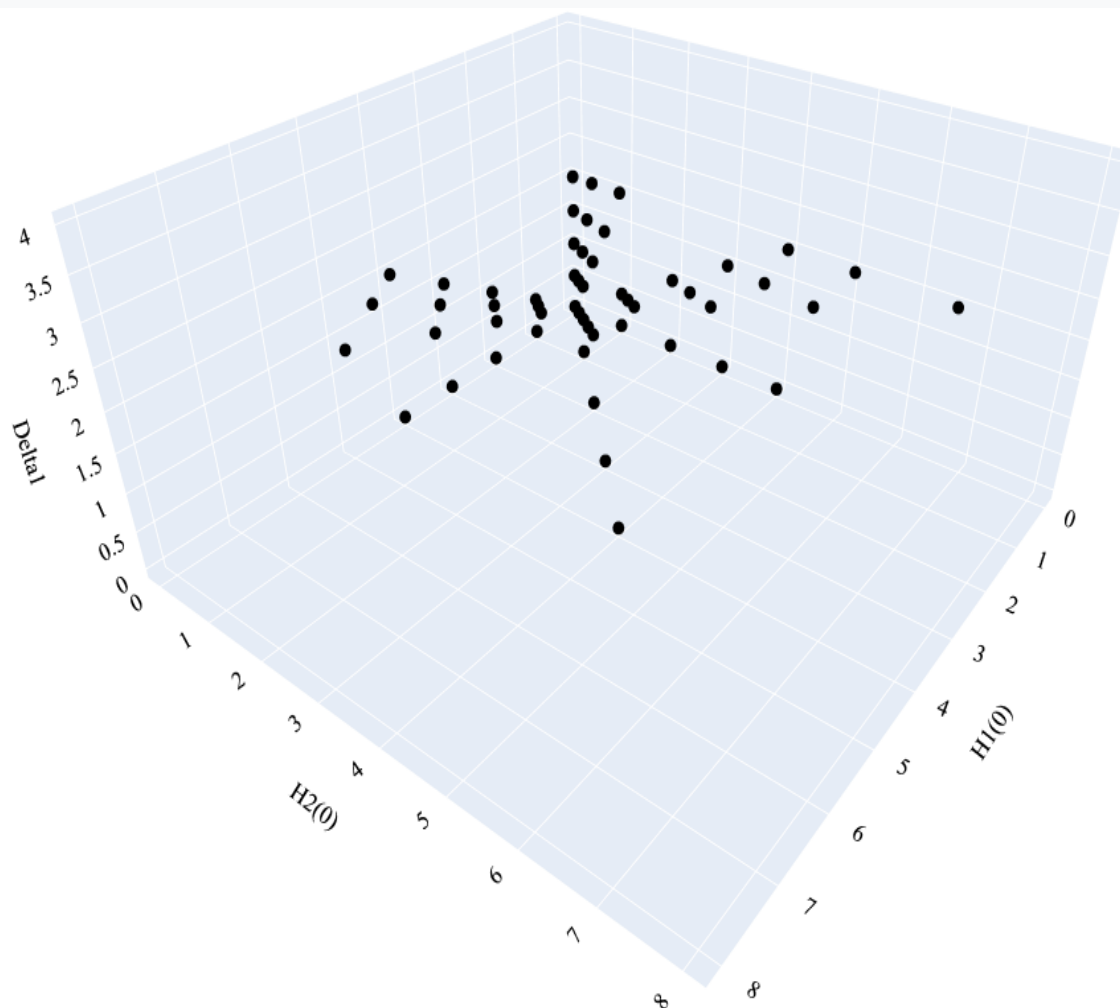
Әдістің бірінші кезеңі үшін үлгі құрастырайық.

Ұсынылған әдістің осы кезеңі үшін толық шешімі [10, 11] сипатталған. Инвесторлардың (ойыншылардың) екі тобы көп өлшемді кеңістіктегі динамикалық жүйені басқарады. Ойыншылар топтары Smart City АТ-ға инвестициялау тәсілдерінде әртүрлі стратегияларды ұстанады. Мысалы, бір топ Smart City үшін АТ-инновациялық парадигмаға басымдық беру негізінде жұмыс істейді. Екінші топ прагматикалық және дәлелденген технологияға инвестиция салуды жөн көреді. Инвесторлардың бұл тәсілі

жүйелік ресурстарға шамадан тыс талаптардан зардап шекпейтін Smart City технологиялары мен жүйелеріне қаржы ресурсын (ҚР) инвестициялауды болжайды. Сонымен қатар, осы аппараттық және бағдарламалық шешімдердің кейбірі Smart City нысандарында орнатылған.

Динамикалық жүйе (ДЖ) тәуелді қозғалыстары бар екісызықты дифференциалдық теңдеулер жиынтығымен берілген. ДЖ үшін ойыншылар топтарының ( $U$ ) және ( $V$ ) стратегияларының жиынтығы анықталған [10, 11].

Теңдеулер жүйесін шешу нәтижесінде [10, 11] авторлары 1-суретте және 2-кестеде көрсетілгендей көпөлшемді шешім кеңістігіндегі осындай нүктелер жиынын алды.



1 сурет – 3 айнымалы үшін АТ Smart City бірінші инвесторы үшін  $W_1$  артықшылықтар жиынының тәуелділігі

[10, 11] сипатталған модельдер бойынша есептеулер Smart City технологияларына инвестициялау процесінің көп өлшемділігін сипаттайтын факторлардың көптігін ескере отырып жасалды.

Бұл әзірленген бағдарламалық өнімде (БӨ) тіпті үш өлшемнен жоғары кеңістіктерде графикалық бейнелеуге арналған құралдар жинағы іске қосылатынын білдіреді.

Мысалы, 4, 5 және 6 өлшемді графиктер үшін Python үшін Plotly кітапханасын пайдаланып, маркерлердің түсін, өлшемін немесе пішінін өзгерту арқылы визуализация

тереңдігін эмуляциялауға болады. 1 суретте үш өлшемді кеңістіктегі нүктелер жиынтығын көрсетеді.

Осы тер келесі үлгі параметрлеріне сәйкес келеді:

-  $H1(0)$  бірінші ойыншының ФР мәні ( $Inv1$ ), ол, мысалы, дамуды басымдық ретінде қарастырады – сумен жабдықтау, көлік, экология;

-  $H2(0)$  – екінші ойыншының ФР мәні ( $Inv2$ ), ол, мысалы, қауіпсіздікті, туризмді және қызмет көрсетуді, денсаулық сақтауды басымдық ретінде дамытуды қарастырады.

$\Delta_0(P_0)$  параметрі динамикалық жүйені оның терминалдық бетіне шығаруға жұмсалған бірінші инвестордың ФР мәнін сипаттайды.

Ұпайлар Smart City технологиясының бірінші инвесторының жиынтыққа деген қалауын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл осылай болады. Белгілі болғандай, әрбір нүкте инвесторлардың ФР сипаттайтын құрамдастардың жиынтығы болып табылады. Демек, бірінші инвестордың ФР болып табылатын құрамдастардың жиынтығы екінші инвестордың ФР болып табылатын құрамдастардың жиынтығына сәйкес келеді. Мұндай компоненттердің бірнеше жиынтығы болуы мүмкін.

Smart City технологияларындағы ойыншылар үшін инвестициялық параметрлерді өзгерту арқылы Nash тепе-теңдігі Smart City технологияларының қажетті даму деңгейіне жету үшін қажетті ойыншылардың стратегияларын дәл қамтамасыз ететінін қамтамасыз етуге болады. Оның үстіне, егер бұрын ойыншылар «қажетсіз» (Smart City технологияларына инвестицияларды басқару тұрғысынан) таңдаған болса да, олар (параметрлердің сәйкес өзгеруінен кейін) Smart дамыту үшін «қажетті» әрекеттерді орындайтыны сөзсіз. Қаланың өздері. Осылайша, Smart City технология жүйесінде субъектілердің өзін-өзі ұйымдастыруына жағдай жасалған. Және бұл Smart City өмірін қамтамасыз ету үшін жалпы қажетті қаржылық ресурстарды айтарлықтай қысқартады.

Көріп отырғаныңыздай, бұл жиынтықтардың кейбірі бірінші инвестордың ФР құрамдастарының жиынтықтарымен бірге Smart City жобаларына инвестициялау процедурасын жалғастыруға кепілдік беретін жиынтыққа жатады. Басқа бөлігі екінші инвестор инвестициялауды жалғастыра алмайтын жиынтыққа жатады. Содан кейін осы мәндердің ішінен минималды мәндерді (әрбір құрамдас бөлік үшін) таңдай отырып, біз әрбір ФР үшін бірінші инвестордың жиынтықтарының артықшылығына жататын бірінші инвестордың жиынтығын аламыз [10, 11].

Есептеу нәтижелері 1-ші кестеде берілген.

T – кестедегі сәйкес саны бар деректерге сәйкес бірінші ойыншы жүйенің күйін оның терминалдық бетіне шығаратын уақыт.

$\Delta_0(P_0)$  – бірінші айнымалы үшін Smart City жобаларына инвестициялау процедурасының сенімділік дәрежесі (сенімділіктің берілген деңгейімен).

$\Delta_1(P_0)$  – екінші айнымалы үшін Smart City жобаларына инвестициялау процедурасының сенімділік дәрежесі (сенімділіктің берілген деңгейімен).

Бірінші ойыншының ресурстарына сәйкес келетін әрбір нүкте үшін бізде,  $\Delta_0(P_0)$ ,  $\Delta_1(P_0)$  айнымалыларының мәні бар. Бұл мәндердің бірнешеуі болуы мүмкін. Бұл мәндердің кейбірі Smart City жобаларындағы инвестициялық процедураларды жалғастыруға кепілдік беретін жиынтыққа сәйкес келеді. Басқа бөлігі екінші ойыншы берілген сенімділік деңгейімен инвестициялауды жалғастыра алмайтын жағдайға сәйкес келеді.

Осылайша, қол жетімді мәндерден әрбір құрамдас үшін минимумды таңдай отырып, біз бірінші ойыншы үшін көптеген артықшылықтарға қол жеткізе аламыз. Дифференциалдық теңдеулер жүйесінің билинарлық сипатына және қарастырылып отырған мәселенің көп өлшемділігіне байланысты басқа тәсілдерді пайдалана отырып, инвесторлардың артықшылықтарының жиынтығын табу мүмкін емес екенін ескеріңіз.



Табылған мәндер  $W_1$  (бірінші инвестордың артықшылығының ауданы) ұтымды инвестициялық стратегияны таңдау әдісінің келесі кезеңінде фитнес функциясы ретінде пайдаланылуы мүмкін және әртүрлі салалардан кірістің болжамды бағасын алуы мүмкін. ойын теориясы мен ГА комбинациясына негізделген Smart City жобаларына инвестиция.

Smart City технологиясындағы инвестициялық процесс көптеген факторлармен сипатталады, мысалы, ФР басым немесе басым емес аймақтарға қалай бөлу керек. Бұл жағдай мәселені көп өлшемділікке әкелетін бір фактормен сипаттауға болмайтындығына әкеледі. Көпөлшемді есептерді шешу, әдетте, [10, 11] бір өлшемді жағдай үшін әзірленген құралдармен бірдей емес қосымша құралдарды әзірлеуді талап етеді.

Дегенмен, күрделі қолданбалы ойын үлгілері үшін жоғары өлшем басқару параметрлері кеңістігіне де, критерийлер кеңістігіне де тән екенін атап өткен жөн.

1 кесте – 3 айнымалы үшін бірінші инвестордың артықшылық аймағын және оның инвестициялық стратегиясын модельдеу нәтижелері бар кестенің үзіндісі (шешімдерді автор [10, 11] негізінде тапты)

№	$W_1$ – бірінші инвестордың артықшылығы аймағы немесе ГА үшін фитнес функциясы	T
1	$2.5 \cdot H1(0) + 3.2 \cdot H2(0) > 0.7 \cdot \Delta_0(P0)$	5.2
2	$3.1 \cdot H1(0) + 1.3 \cdot H2(0) > 2.2 \cdot \Delta_0(P0)$	4
3	$2.4 \cdot H1(0) + 3.7 \cdot H2(0) > 1.9 \cdot \Delta_0(P0)$	3.7

Сонымен қатар, егер «Smart City» дамыту жобаларындағы инвесторлар тобын коалиция ретінде қарастыратын болсақ, онда мұндай коалицияны бағалау тиімділігінің векторлық көрсеткіштерінің құрамдас бөліктері дөңес еместігімен және олқылықтардың болуымен сипатталады. Күрделі инвестициялық жобаларды ескере отырып, ойын үлгісі өзінің таза түрінде классикалық ойын үлгілерін, сондай-ақ белгілі оңтайландыру әдістерін пайдалануды айтарлықтай қиындатады немесе мүмкін емес етеді. Бұл осы кластағы мәселелерді шешудің жаңа тәсілдерін қалыптастыру қажеттілігін өзекті етеді. Мысалы, біз Smart City үшін ұтымды технологияны инвестициялау стратегиясын таңдаудың гибридіті әдісінің екінші кезеңінде қолданылған ГА қолдану негізінде.

Жұмыстардың [12-14] деректеріне сүйене отырып, Smart City экономикасына инвестицияның қайтарымдылығының өсуіне әсер ететін инвестиция салаларын (көрсеткіштерді) анықтаймыз. Осы инвестициялық салалардың (көрсеткіштердің) атаулары, сондай-ақ инвесторлар қызығушылық танытатын салалардың әрқайсысымен байланысты айнымалылар тізімі 2-кестеде көрсетілген. Инвестициялардың әрбір бағыты шартты Smart City-де өндірістің өсуіне ықпал ете алады деп болжануда.

Біз 2-кестеде Smart City экономикасына инвестиция қайтарымының өсуін сипаттайтын параметр бар деп болжаймыз. Параметр ақшалай түрде қабылданады және (Smart City технологияларына инвестициялау бағыты) тәуелді айнымалы ретінде қарастырылады.

Генетикалық алгоритм деректерді өңдеу процесінде келесі процедураларды жүзеге асыруға мүмкіндік беруі керек: PrG өсуді есептеу; PrG шекті мәндерді анықтау; PrG мәндерді екілік пішінге түрлендіру; көрсеткіштер мәндерін екілік пішінге түрлендіру; жіктелген реттілік үшін қателер санын анықтау; оның экономикалық көрсеткіштерінің ең үлкен өсуін қамтамасыз ете алатын Smart City технологияларына инвестициялау бағыттарының тізімін анықтау. Сонымен қатар, үшін қателер санын азайту қажет.

2 кесте – Smart City технологияларына инвестициялаудың ұтымды стратегиясын табу мәселесіне арналған кодтау айнымалылары

№	Опциялар	Белгі
	«Smart City» экономикасына инвестицияның қайтарымдылығын арттыру	PrG
	Инвестициялардың бағыттары (көрсеткіштер)	$X_i (x_1 - x_{16})$
1-16	Энергетика, Сумен жабдықтау, Көлік, Экология, Қауіпсіздік, Туризм және қызмет көрсету, Денсаулық сақтау, Қалдықтарды басқару, Білім, Ақылды тұрғын үй-коммуналдық қызметтер, Ақылды жарықтандыру, Смарт жарықтандыру, Біріктірілген автоматтандыру, Смарт паркинг, Әлеуметтік қызметтер, Қашықтан инфрақұрылымды басқару, Ақылды қала басқару	$X_1$

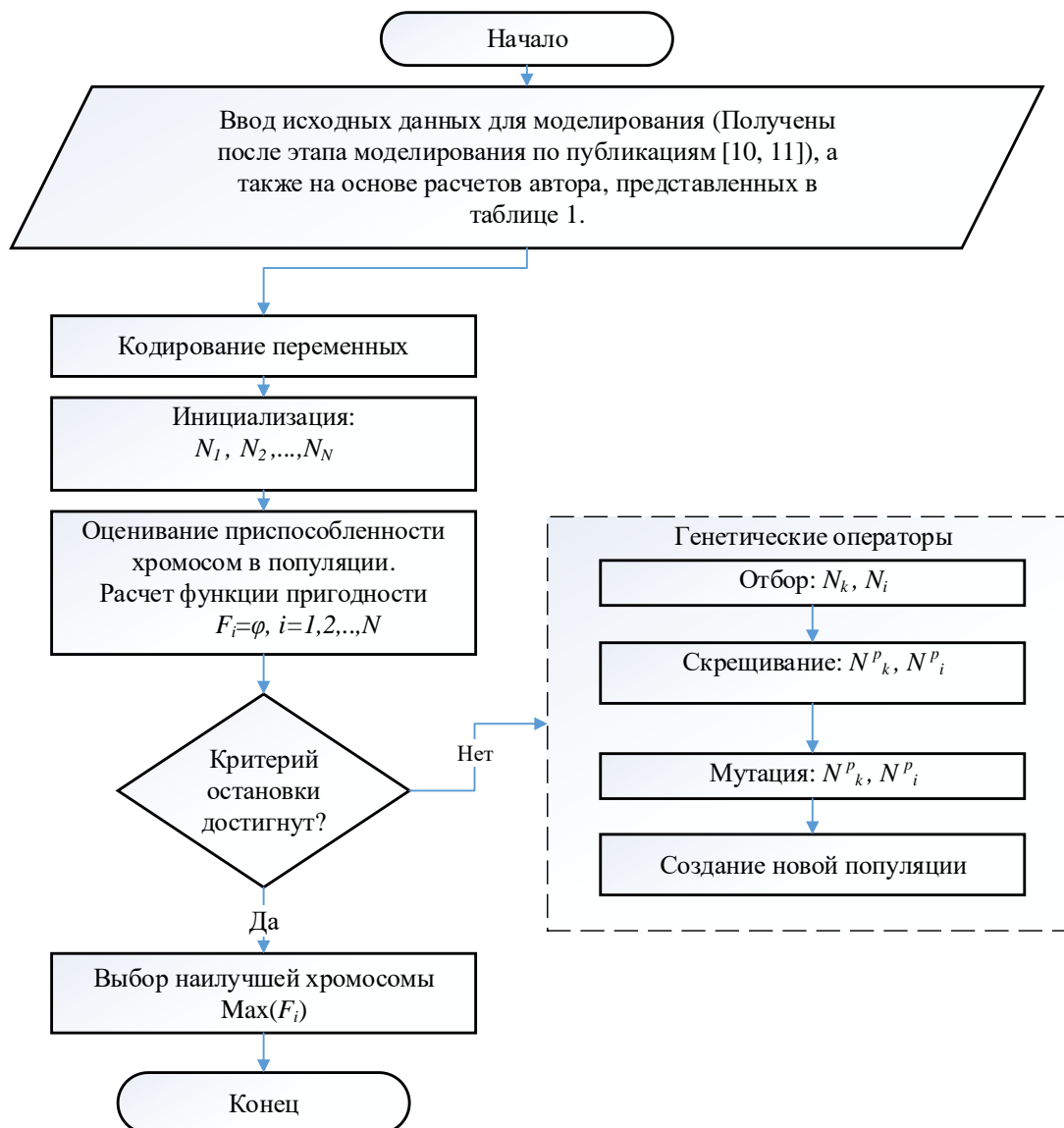
Параметрдің мәні – жалпы алғанда Smart City экономикасына салынған инвестицияның кірістілігінің өсуі [10, 11] ұсынылған модельдер негізінде анықталуы мүмкін. Бұл жұмыстарда бірнеше терминалды беттері бар екі сызықты динамикалық сапа ойыны үшін дифференциалдық теңдеулер жүйесінің шешімдері егжей-тегжейлі қарастырылады. Бұл шешім Smart City экономикасына инвестицияның кірістілігінің өсуі туралы бастапқы болжамдық деректерді анықтауға мүмкіндік берді

Белгілі бір уақыт кезеңіне болжамды бағалауды ұсыну үшін екілік кодтау қолданылады. Сонымен, егер бірнеше терминалды беттері бар екі сызықты динамикалық сапа ойынын шешу нәтижесі Smart City экономикасындағы инвесторлар кірісінің өсуін көрсетсе, онда екілік код индикаторы 1-ге тең қабылданады. Егер өсу болжамы нөл немесе теріс болса, онда индикатор 0 болып қабылданады. Төменде бинаризация нәтижелерінің мысалы бар кестенің фрагменті көрсетілген.

Инвесторлар үшін қаржылық ресурстың қайтарымдылығын арттыру арқылы инвестициялық стратегияларды табу мәселесін шешуге осындай аралас тәсілмен жоғары сызықтық емес мәселелерді шешуге болатынын ескеріңіз. Оның үстіне шешу кезінде мақсаттық функцияның түріне тәуелді болмайтынымыз маңызды. Табылған шешім квазиоптайлы және ғаламдық деңгейге жақын болады. Зерттеуде ұсынылған ГА жүзеге асырудың жалпы схемасы 2-суретте көрсетілген.

3 кесте – «Smart City» экономикасына инвестицияның қайтарымдылығының өсу көрсеткіштерін бинаризациялау нәтижелері

Бағыт (2 кестені қараңыз)	Белгілі бір салалардағы «Smart City» экономикасына инвестиция қайтарымының ұлғаюының болжамды мәні	Көрсеткіш
1	+25 (үлгілер негізінде есептелген мәннің мысалы [40, с. 1805-1811; 60, с. 8-12; 61, с. 26-39])	1
2	-10	0
...	...	...
16	+5	1



2 сурет – Smart City технологиясына инвестициялаудың ұтымды стратегиясын таңдау мәселесін шешуге арналған ГА блок-схемасы

Төменде ГА пайдалана отырып, Smart City технологияларына инвестициялаудың ұтымды стратегиясын таңдау мәселесін шешудің негізгі кезеңдері қарастырылған.

1. Инициализация. Бастапқы популяция түзіледі, ол олардың хромосомаларынан тұрады. Хромосомалар екілік кодта көрсетілген. Кодтау үшін бастапқы деректер бірнеше терминалды беттері бар көп сатылы сапалы ойынды шешу процесінде алынған мәліметтер болып табылады [10, 11].

2. Популяциядағы хромосомалардың жарамдылығына баға беріледі. Фитнес функциясы (жалпы жағдайда мақсаттық функция) есептеледі. Мақсатты функция ретінде «Smart City» дамуының белгілі бір бағыттарына инвестиция қайтаруының болжамды мәндері алынады. Мақсаттық функция хромосомалардың әрқайсысы үшін анықталады.

3. Көбею. Келесі 3.1-3.4 қадамдары орындалады. Бұл хромосомалардан тұратын жаңа популяция жасалғанша жүзеге асады.

3.1. Таңдау және таңдау. Популяциядан ықтималдықпен ата-аналық екі хромосоманы таңдаймыз.



3.2. Өткел. Қиылысу операциясын орындау қажеттілігі бар ма, жоқ па, анықтайық. Егер мұндай қажеттілік болса, біз кездейсоқ позицияларда биттерді алмастырамыз. Кез келген опция үшін (модельдеуге бастапқы деректерді енгізу арқылы жүзеге асырылады (Жарияланымдар [10, 11] бойынша модельдеу сатысынан кейін алынған), сондай-ақ 2-кестеде келтірілген авторлық есептеулер негізінде қиылысу немесе ол жоқ) хромосомалар өтеді. ұрпақтар санатына жатады.

3.3. Мутация. Ұрпақ хромосомалары үшін таңдалған битті кездейсоқ ауыстырамыз.

3.4. Жаңа популяцияның пайда болуы. Жаңа популяция құрылууда. Бұл жағдайда «элиталық» таңдау принципі қолданылады.

4. Қайталау. Алгоритмді тоқтату шартына жеткенше процесті 2-тармаққа сәйкес қайталаймыз.

5. Инвестордың көзқарасы бойынша инвестициялық жобалардың басым бағыттарын сипаттайтын «ең жақсы» хромосоманы таңдаймыз. Және ол үшін инвестицияның қайтарымы максималды болады.

Оның өнімділігін тексерудің бұл алгоритмі C# алгоритмдік тілінде бағдарламалық өнім (БӨ) ретінде жүзеге асырылды.

### **Қорытынды.**

Жұмыс барысында келесі негізгі нәтижелер алынды:

- алғаш рет ұтымды инвестициялық стратегияны таңдаудың және ойын теориясы мен ГА комбинациясына негізделген Smart City жобаларына инвестицияның әртүрлі бағыттарының кірістілігінің болжамды бағасын алудың гибридті әдісі сипатталған;

- бұл әдістің бірінші кезеңінде тек екі сызықты динамикалық сапа ойындарының аппаратын қолдану инвестордың стратегиясына сәйкес келетін әрбір нүкте белгілі бір инвестициялық құрамдас бөліктердің жиынтығы болатын нәтиже беретіні көрсетілген. Бұл компоненттер РЖ сәйкес келеді. Инвесторлардың әрқайсысының терминалдык бетінде орналасатын нүктелер жиынтығы нақты инвестициялық бағдарламаларды сипаттайды. Өздігінен, бірнеше терминалдык беттері бар екі сызықты динамикалық сапа ойыны үшін дифференциалдық тендеулер жүйесін қолдануға негізделген шешімдер инвесторлардың терминалдык беттеріндегі нүктелер үшін опциялардың жеткілікті үлкен шашырауын береді. Бұл осы нүктелерді талдауға және инвестордың қалауы аймағын іздеуге қосымша уақыт бөлу қажеттілігін талап етеді.

Smart City жобаларына инвестициялаудың ұтымды стратегиясын таңдаудың ұсынылып отырған әдісінің екінші кезеңінде ГА қолдану жоғарыда аталған кемшілікті жоятыны көрсетілген.

### **ӘДЕБИЕТТЕР**

[1] Гусев, П. Ю., Кольцов, А. С., & Картавых, А. И. (2019). Генетические алгоритмы в оптимизации планировочных решений. In Информатика: проблемы, методология, технологии (pp. 1682-1684).

[2] Семенкин, Е. С., & Сергиенко, Р. Б. (2009). Коэволюционный генетический алгоритм решения сложных задач условной оптимизации. Сибирский журнал науки и технологий, (2), 17-21.

[3] Dhunny, A. Z., Timmons, D. S., Allam, Z., Lollchund, M. R., & Cunden, T. S. M. (2020). An economic assessment of near-shore wind farm development using a weather research forecast-based genetic algorithm model. Energy, 201, 117541.

[4] Sytnyk, N. V. Chernenko, S. O. (2012), "Model and genetic algorithm for determining the optimal transportation routes for port operators", Vcheni zapysky, [Online], vol.14, pp. 274-

281, available at: <http://ir.kneu.edu.ua:8080/bitstream/2010/2232/1/Sutnuk.pdf> (Accessed 15 January 2023).

[5] Raichaudhuri, A. Jain, A. (2010), "Genetic Algorithm based Logistics Route Planning", *International Journal of Innovation, Management and Technology*, [Online], June, Vol. 1, No. 2, p. 205-207.

[6] Pongcharoen, P. Khadwilard, A. Klakankhai, A. (2007), "Multimatrix Realcoded Genetic Algorithm for Minimising Total Costs in Logistics Chain Network", *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, vol.1, no.11, pp. 574—579.

[7] Lopez Gonzalez, E. Rodriguez Fernandez, M. A. Mendana Cuervo, C. (2000), "The Logistic Decision Making in Management Accounting with Genetic Algorithms and Fuzzy Sets", *Mathware and Soft Computing*, vol. 7, no. 2-3, pp. 229.

[8] Wen, C. Russell, C. Eberhart, (2002), "Genetic Algorithm for Logistics Scheduling Problem", *Evolutionary Computation*, 2002. CEC '02. Proceedings of the 2002 Congress on Vol. 1 pp. 512-516.

[9] Can, C., Shenquan, Y., Yutian, W., Rong, L., Rui, L., & Bo, Y. (2021, April). Research on Multi-factorial Investment Decision of Distribution Network Based on Input-output Assessment and Genetic Algorithm. In 2021 6th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE) (pp. 394-398). IEEE.

[10] V. Lakhno, V. Malyukov, T. Bochulia, Z. Hipters, A. Kwilinski and O. Tomashevskaya, 2018. Model of managing of the procedure of mutual financial investing in information technologies and smart city systems. *International Journal of Civil Engineering & Technology (IJCIET)*, Vol. 9, Iss. 8, pp. 1802-1812.

[11] Akhmetov, B. B., Lakhno, V. A., Akhmetov, B. S., & Malyukov, V. P. (2018). The Choice of Protection Strategies During the Bilinear Quality Game On Cyber Security Financing. *Bulletin of The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, (3), pp. 6-14.

[12] Wu, S. S. (2020). *Smart Taipei City: understanding policy motivations, approaches and implementation*. In *Smart Cities in Asia*. Edward Elgar Publishing.

[13] Joo, Y. M., & Tan, T. B. (2020). *Smart cities in Asia: an introduction*. In *Smart Cities in Asia*. Edward Elgar Publishing. P. 23.

[14] Mak, H. W. L., & Lam, Y. F. (2021). Comparative assessments and insights of data openness of 50 smart cities in air quality aspects. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102868

## REFERENCES\*

[1] Gusev, P. Ju., Kol'cov, A. S., & Kartavyh, A. I. (2019). Geneticheskie algoritmy v optimizacii planirovochnyh reshenij. In *Informatika: problemy, metodologija, tehnologii* (pp. 1682-1684).

[2] Semenkin, E. S., & Sergienko, R. B. (2009). Kojevoljucionnyj geneticheskij algoritm reshenija slozhnyh zadach uslojnoj optimizacii. *Sibirskij zhurnal nauki i tehnologii*, (2), 17-21.

[3] Dhunny, A. Z., Timmons, D. S., Allam, Z., Lollchund, M. R., & Cunden, T. S. M. (2020). An economic assessment of near-shore wind farm development using a weather research forecast-based genetic algorithm model. *Energy*, 201, 117541.

[4] Sytnyk, N. V. Chernenko, S. O. (2012), "Model and genetic algorithm for determining the optimal transportation routes for port operators", *Vcheni zapysky*, [Online], vol.14, pp. 274-281, available at: <http://ir.kneu.edu.ua:8080/bitstream/2010/2232/1/Sutnuk.pdf> (Accessed 15 January 2023).

[5] Raichaudhuri, A. Jain, A. (2010), "Genetic Algorithm based Logistics Route Planning", *International Journal of Innovation, Management and Technology*, [Online], June, Vol. 1, No. 2, p. 205-207.

- [6] Pongcharoen, P. Khadwilard, A. Klakankhai, A. (2007), "Multimatrix Realcoded Genetic Algorithm for Minimising Total Costs in Logistics Chain Network", *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, vol.1, no.11, pp. 574—579.
- [7] Lopez Gonzalez, E. Rodriguez Fernandez, M. A. Mendana Cuervo, C. (2000), "The Logistic Decision Making in Management Accounting with Genetic Algorithms and Fuzzy Sets", *Mathware and Soft Computing*, vol. 7, no. 2-3, pr. 229.
- [8] Wen, C. Russell, C. Eberhart, (2002), "Genetic Algorithm for Logistics Scheduling Problem", *Evolutionary Computation, 2002. CEC '02. Proceedings of the 2002 Congress on Vol. 1* pp. 512-516.
- [9] Can, C., Shenquan, Y., Yutian, W., Rong, L., Rui, L., & Bo, Y. (2021, April). Research on Multi-factorial Investment Decision of Distribution Network Based on Input-output Assessment and Genetic Algorithm. In *2021 6th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE)* (pp. 394-398). IEEE.
- [10] V. Lakhno, V. Malyukov, T. Bochulia, Z. Hipters, A. Kwilinski and O. Tomashevskaya, 2018. Model of managing of the procedure of mutual financial investing in information technologies and smart city systems. *International Journal of Civil Engineering & Technology (IJCIET)*, Vol. 9, Iss. 8, pp. 1802-1812.
- [11] Akhmetov, B. B., Lakhno, V. A., Akhmetov, B. S., & Malyukov, V. P. (2018). The Choice of Protection Strategies During the Bilinear Quality Game On Cyber Security Financing. *Bulletin of The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, (3), pp. 6-14.
- [12] Wu, S. S. (2020). Smart Taipei City: understanding policy motivations, approaches and implementation. In *Smart Cities in Asia*. Edward Elgar Publishing.
- [13] Joo, Y. M., & Tan, T. B. (2020). Smart cities in Asia: an introduction. In *Smart Cities in Asia*. Edward Elgar Publishing. P. 23.
- [14] Mak, H. W. L., & Lam, Y. F. (2021). Comparative assessments and insights of data openness of 50 smart cities in air quality aspects. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102868

**Valery Lakhno**, doctor of technical sciences, professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine, lva964@gmail.com

**Valery Malyukov**, doctor of physical and mathematical sciences, professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine, volod.malyukov@gmail.com

**Janna Kuandykova**, candidate of technical sciences, professor, Turan University, Almaty, Kazakhstan, d.kuandykova@turan-edu.kz

**Lyailya Tukenova**, candidate of technical science, docent, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan,

**Raigul Alenova**, master, Turan University, Almaty, Kazakhstan, raya.alenova@bk.ru

## **HYBRID APPROACH TO SELECTING THE BEST TECHNOLOGICAL INVESTMENT STRATEGY FOR SMART CITY**

**Abstract.** This article describes for the first time a hybrid method of choosing a rational investment strategy and obtaining a predictive assessment of the profitability of different investment directions in Smart City projects based on a combination of game theory and genetic algorithm (GA). In the research process, it was shown that in the first stage of this hybrid method, the use of only the apparatus of two linear dynamic quality games gives the result that each point corresponding to the investor's strategy is a set of certain investment components. These components correspond to their financial resources aimed at implementing various local

Smart City development projects, such as health, transport, environment, security, etc. For a bilinear dynamic quality game with multiple terminal surfaces, it is shown that even solutions based on the application of a system of differential equations provide a sufficiently large spread of options for the points on the investor's terminal surfaces. This requires the need to devote additional time to analyzing these points and searching for the investor's preference zone. In the second phase of the proposed hybrid method of choosing a rational investment strategy for Smart City projects, it is shown that the use of GA eliminates the above-mentioned shortcoming and provides more accurate results for potential investors.

**Keywords.** Smart City, hybrid method investment, genetic algorithm.

**Валерий Лахно**, д.т.н., профессор, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, Украина, lva964@gmail.com

**Валерий Малюков**, д.ф.-м.н., профессор, Национальный университет жизни и естественных наук, Киев, Украина, volod.malyukov@gmail.com

**Джанна Куандыкова**, к.т.н., профессор, Университет Туран, Алматы, Казахстан, d.kuandykova@turan-edu.kz

**Ляйля Туkenова**, к.т.н., доцент, Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даякеева, Алматы, Казахстан, l.tukenova@aues.kz

**Райгуль Аленова**, магистр, Университет Туран, Алматы, Казахстан, raya.alenova@bk.ru

## ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ЛУЧШЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНВЕСТИЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ ДЛЯ SMART CITY

**Аннотация.** В данной статье впервые описан гибридный метод выбора рациональной инвестиционной стратегии и получения прогнозной оценки доходности различных направлений инвестирования в проектах «Умный город», основанный на сочетании теории игр и генетического алгоритма (ГА). В процессе исследования было показано, что на первом этапе данного гибридного метода использование только аппарата двух линейных динамических качественных игр дает результат, что каждая точка, соответствующая стратегии инвестора, представляет собой набор определенных инвестиционных компонентов. Эти компоненты соответствуют их финансовым ресурсам, направленным на реализацию различных местных проектов развития «умного города», таких как здравоохранение, транспорт, окружающая среда, безопасность и т. д. Для игры билинейного динамического качества с множеством терминальных поверхностей показано, что даже решения, основанные на применении системы дифференциальных уравнений, обеспечивают достаточно большой разброс вариантов точек на терминальных поверхностях инвестора. Это требует необходимости уделять дополнительное время анализу этих моментов и поиску зоны предпочтений инвестора. На втором этапе предлагаемого гибридного метода выбора рациональной инвестиционной стратегии для проектов «умного города» показано, что использование ГА устраняет указанный выше недостаток и обеспечивает более точные результаты для потенциальных инвесторов.

**Ключевые слова.** Умный город, гибридный метод инвестиций, генетический алгоритм.

\*\*\*\*\*