

МРНТИ 67.07.81.

Тип статьи (научная статья)

Д.Ф. Кучкарова¹ , Д.А. Ачилова² , Б.С. Исмаатов³ , Ш.Г. Суюнов⁴ 

^{1,3,4}Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Ташкент, Узбекистан

²Совместный Белорусско-Узбекский межотраслевой институт прикладных технических квалификаций в городе Ташкенте, Ташкент, Узбекистан

(E-mail: ¹kuchkarova-dilarom@yandex.ru, ²di-ahmatovna@mail.ru,

³baxtiyorismatov26@gmail.com, ⁴ssuyunov44@gmail.com)

Алгоритмы выбора проекта гидротехнического сооружения на основе экспертных оценок

Аннотация. В данной статье рассмотрены общие алгоритмы проектирования гидротехнических сооружений и алгоритмы выбора оптимального проекта на основе предъявляемых к ним показателей качества. Создаются несколько проектов гидротехнического сооружения, которые могут конкурировать друг с другом по различным критериям. Разработаны алгоритмы, позволяющие автоматизировать процесс оценки этих проектов экспертным методом. На основе методов Дельфи и Парето разработана методика выбора наиболее приемлемого варианта проекта. Предложенные алгоритмы адаптированы к языкам программирования. В последовательности легко формализуемых шагов начиная от анализа геодезических данных до Парето-оптимизации полученных проектов. Предлагаемая последовательность шагов обеспечивает генерирование множества проектов по исходным данным и выбор среди них наиболее приемлемого с точки зрения лица принимающего решения.

Ключевые слова: геоморфологический анализ местности, метод Парето-оптимизации, экспертный метод, метод Дельфи.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2220-685X-2024-73-2-15-28>

Введение

Гидротехнические сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов в хозяйственных целях, имеют большое значение для Республики Узбекистан [1]. В условиях засушливого и изменчивого климата и ощутимого дефицита воды, проблема водных ресурсов становится одной из наиболее острых. Многочисленные типы и проекты гидротехнических сооружений классифицируются по ряду наиболее общих признаков. В Республике Узбекистан исследования в области гидротехнического строительства связаны с вопросами безопасности, сейсмоустойчивости и учета специфических особенностей местности [2,3,4,5]. На всех этапах жизненного цикла сооружения: проектирования, строительства и эксплуатации возникает задача контроля качества объекта. Для первоначального этапа–цикла проектирования гидротехнического сооружения, в первую очередь необходимы общие алгоритмы создания проекта в целом, включая канал, дамбу, водохранилище и т.д., с последующей автоматизацией процесса проектирования. Многие типы и проекты гидротехнических сооружений классифицируются по ряду наиболее общих признаков. Современные системы автоматизированного проектирования (САПР, CAD/CAM/CAE) ориентированы на использование разнообразных подходов к созданию многочисленных объектов.

Одним из условий функционирования современных САПР является возможность генерирования множества вариантов проекта, из которых выбирается оптимальный. Процесс проектирования – это последовательность шагов, которым следуют проектировщики для поиска и реализации проектных решений. Такой процесс требует системного подхода и не предполагает общепринятой схемы его реализации.

Методология

Многие проектировщики используют в своей работе собственные методики. Как правило, процесс проектирования начинается с постановки проблемы и заканчивается предъявлением готового решения, при этом

промежуточные этапы могут быть разными. В целом процесс проектирования состоит из 6 этапов:

1. Анализ проектной ситуации;
2. Исследование возможностей создания проекта;
3. Поиск проектных решений;
4. Тестирование возможных решений;
5. Выбор приемлемого решения;
6. Применение на практике.

Процесс создания проектных чертежей гидротехнических сооружений также базируется на определенной системе общих алгоритмов:

1. Этап анализа топографических, сейсмологических и ряда других особенностей местности, где предполагается строительство сооружения. В результате геодезических измерений составляется карта координат местности;

2. На основе полученных координат в специальных компьютерных программах создаются горизонталы участка местности;

3. На базе полученных горизонталей местности осуществляется процесс составления проектного чертежа гидротехнического сооружения согласно требованиям, указанным в проекте и изначально заданному профилю сооружения вычерчиваются контуры дна (для каналов - две параллельные прямые или криволинейные линии, для дамбы - верхняя ее часть, очерчиваемая двумя параллельными или криволинейными линиями и т.д.). Затем параллельно построенным линиям проводят линии плоскостей откосов и бермы;

4. Перпендикулярно кромочному контуру бермы проводят линии масштабов уклонов и в соответствии со свойствами грунта определяются интервалы и проектные горизонталы;

5. На следующем этапе определяются границы земляных работ путем поиска точек пересечения проектных и естественных горизонталей, соответствующих друг другу.

Выше приведённые этапы 2-3-4-5 легко формализуются и к ним применимы любые универсальные языки программирования. Также эти этапы легко визуализируются. На рисунках 1, 2 и 3 приведены в качестве примера этапы создания чертежа канала.

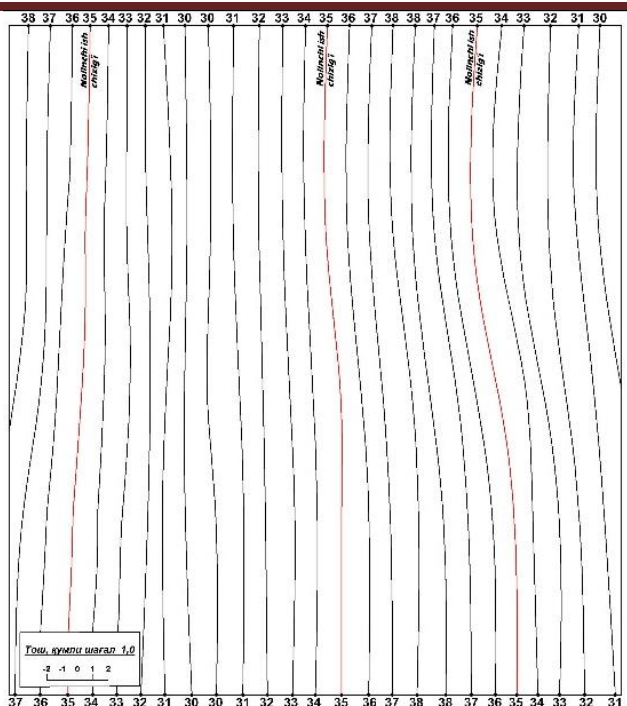


Рисунок 1. Горизонталы рельефа

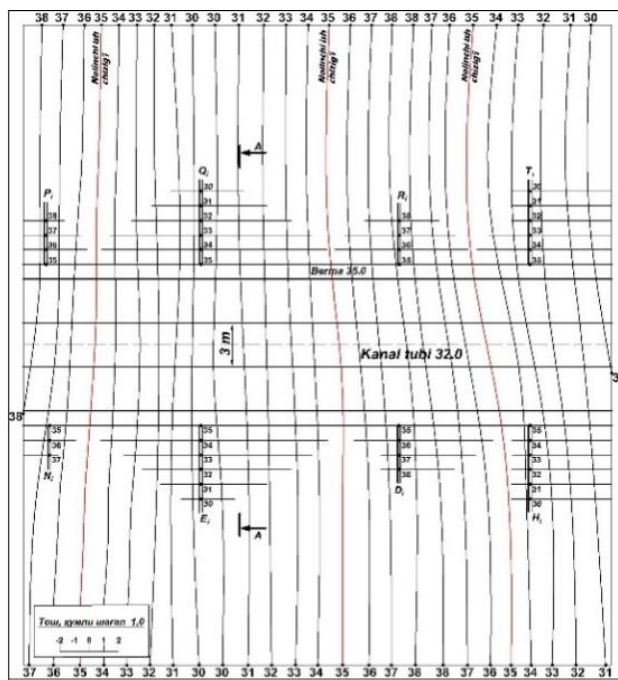


Рисунок 2. Построение контура канала

В современных условиях автоматизированного проектирования генерирование множества проектных решений обеспечивается наперед заданными требованиями к проекту. Как правило, эти требования, а также строительные нормы и правила, варьируются в определенных количественных показателях. Следующим этапом, после генерирования множества проектных решений, является выбор наиболее приемлемого проекта [6, 7, 8].

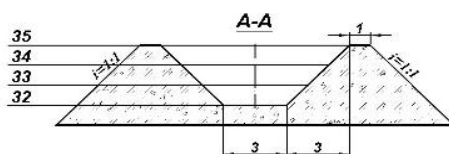
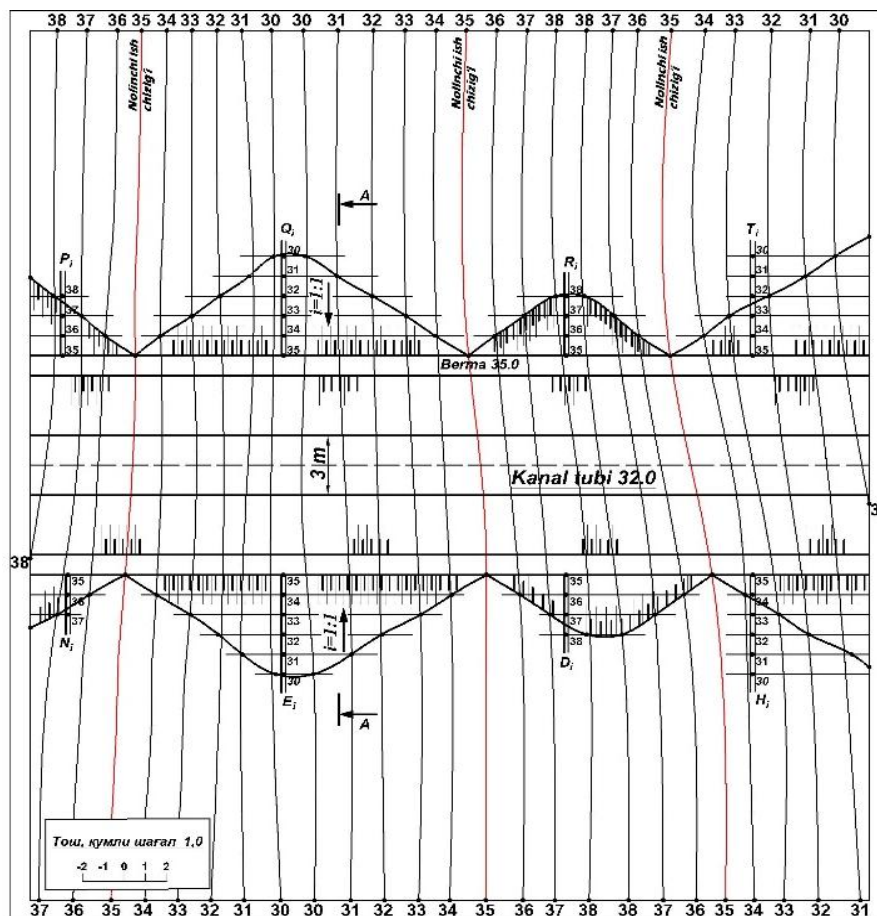


Рисунок 3. Граница земляных работ и разрез А-А

Оценка проекта по показателям качества с помощью компьютерных программ и выбор оптимального проекта предполагает наличие специальных формализованных подходов к решению многокритериальных задач с использованием теории оптимизации и принятия решения.

В общем случае, показатели качества гидротехнических сооружений можно разделить на группы по их степени значимости, среди которых такие как: стоимость проекта, долговечность, безопасность, простота использования, устойчивость к внешним воздействиям, объем годовых потерь, соответствие строительным нормам и т.д. В каждом конкретном случае взаимосвязь между указанными показателями качества образует сложную структуру, для которой необходим факторный анализ.

Интегральная оценка качества гидротехнического сооружения основана на оценках нескольких групп показателей: экономичности, надежности (долговечности, ремонтпригодности), а также эргономические, эстетические, экологические и др. показатели. Получение объективных оценок по каждой группе показателей предполагает использование метода экспертных оценок. Экспертный метод позволяет в таких случаях определить значения весовых коэффициентов показателей конкретного сооружения [9, 10].

Стандартный прием использования экспертного метода состоит из следующих этапов:

1. Отбор группы экспертов;
2. Оценка степени компетентности конкретного эксперта;
3. Выбор способов экспертного оценивания;
4. Статистическая обработка полученных данных.

Процедура статистической обработки экспертных данных включает 3 этапа: 1. Анализ оценок каждого эксперта; 2. Определение групповых оценок объекта; 3. Оценка достоверности групповых оценок.

Для гидротехнических сооружений предпочтительны методы: ранжирования, нормирования и «Дельфи». В случае ранжирования эксперту предлагается сравнить объекты по принципу «лучше или хуже» и построить ранжированный ряд. Для метода нормирования эксперту предлагается оценить объекты по определенной шкале, например, от нуля до единицы. Нижняя граница равна нулю, затем присваивается объекту с рангом один максимальная оценка по заданной шкале. Следующим по порядку объектам

проставляются оценки путем сравнения их с уже оцененным. Метод «Дельфи» предполагает проведение экспертизы в несколько этапов и работу нескольких изолированных групп экспертов. На первом этапе каждая группа экспертов высказывает свое мнение, затем все оценки анализируются. Из предложенных оценок выбираются крайние значения, которые вновь подвергаются уже совместной экспертизе. Данный метод представляет собой структурированную коммуникацию и изначально он был разработан как интерактивный.

Результатом применения методов экспертных оценок является таблица с оценками показателей качества различных групп критериев для гидротехнического сооружения (Рисунок 4).

Следующим шагом для выбора оптимального проекта является Парето-оптимизация. Проектные решения образуют Парето оптимальное подмножество, если для двух любых объектов найдутся хотя бы два критерия показателя качества такие, что по одному из них первый предпочтительнее второго, а по другому, наоборот – второй объект предпочтительнее первого.

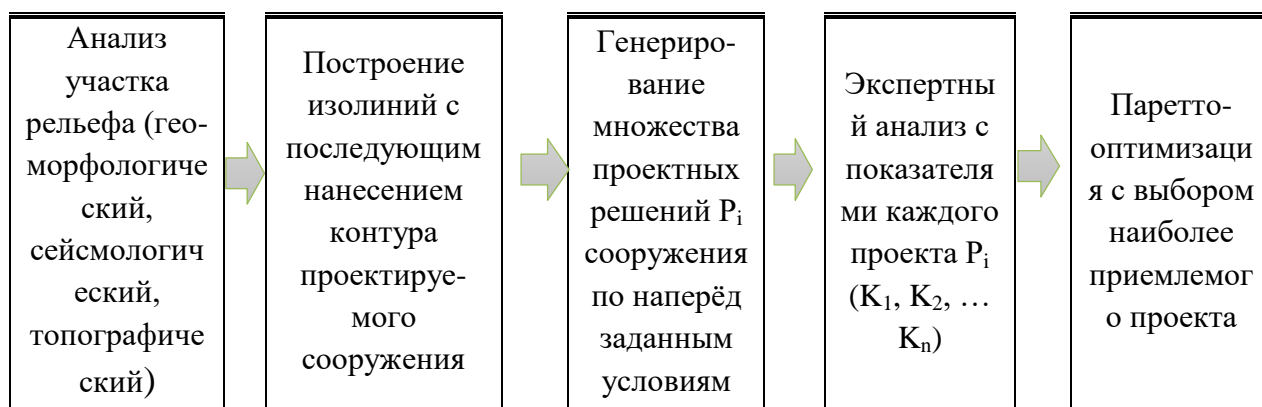


Рисунок 4. Алгоритм выбора проекта

Все объекты, входящие в подмножество оптимальных по Парето проектов, конкурируют между собой по различным критериям. В общей постановке задачи задаются N объектов, оцененных по $k_1 \dots k_j \dots k_m$ критериям. Здесь каждый k_i – число конкретного показателя качества, как, например, объёмы земляных работ, транспортных расходов, и т.д..

Формируется идеальный объект из максимальных по полезности значений критериев, достигаемых на имеющемся множестве проектов. Кроме идеального объекта, формируется наихудший объект из минимальных по полезности значений критериев на множестве проектов. Затем осуществляется переход по каждому критерию к относительным единицам измерения,

$$d_j^i = \frac{k_j^+ + k_j^i}{k_j^+ - k_j^-}.$$

В относительных единицах d_j^i интерпретируется как расстояние i -го объекта по критерию k_j от идеального объекта. В данной формуле d_j^i указывает разницу между показателями качества наилучшего и наихудшего проекта до конкретного рассматриваемого проекта. На следующем этапе задается относительная важность критериев. Как правило, лицо принимающее решение (ЛПР), задает значения относительной важности критериев $W_1 \dots, W_m$ исходя из своего опыта и представлений. Затем вычисляется расстояние от конкретного объекта до идеального на основе формулы

$$L_i^p = \sum_{j=1}^m \{ [W_j(1 - d_j^i)]^p \}^{1/p}, \quad (p = 1, 2, 3, \dots)$$

Здесь: p - число принимающее значение 1,2,3,4,5 ... показатель метрики, показывающий разницу между всеми показателями качества конкретного проекта до идеального [11].

Меняя параметр p , определяют различные расстояния конкретного проекта до идеального. По значению L_i^p можно судить о расстоянии проекта от идеального, чем больше L тем ближе проект k идеальному. Здесь под расстоянием между конкретным проектом и идеальным подразумевается разница между всеми показателями качества конкретного проекта и идеального. Конкретный проект тем ближе к идеальному, чем меньше разница между показателями качества конкретного и идеального проекта. Затем из рассмотрения исключаются проекты, которые наиболее удалены от идеального при разных p . Процедура повторяется до тех пор, пока не

выявится наиболее предпочтительный вариант с точки зрения ЛПР, т. е., лица, принимающего решения.

Заключение

Предлагаемый алгоритм выбора проекта гидротехнического сооружения является универсальным и позволяет выбрать наиболее приемлемый вариант любого сооружения (канала, дамбы, акведука и т.д.). Универсальность заключается в последовательности легко формализуемых шагов начиная от анализа геодезических данных до Парето-оптимизации полученных проектов. Предлагаемая последовательность шагов обеспечивает генерирование множества проектов по исходным данным и выбор среди них наиболее приемлемого с точки зрения лица принимающего решения (ЛПР).

Список литературы

1. Указ Президента Республики Узбекистан УП-№ 6200 “О мерах по дальнейшему совершенствованию системы государственного управления и контроля в использовании водных ресурсов и обеспечению безопасности водных объектов” от 6 апреля 2021 года. –Ташкент: - 354 с. - **законодательные и нормативные документы**

2. Бакиев М.Р., Шукурова С.Э. Регулирование русел комбинированной дамбой с затопленной сквозной частью переменной застройки путь повышения эффективности орошаемого земледелия // Ирригация и мелиорация. –Ташкент: 2016. №3. С. 39-42. ISSN 2181-8584 - – **материалы конференций**

3. Бакиев М.Р., Шукурова С.Э. О растекании потока, симметрично стесненного комбинированными дамбами со ступенчатой застройкой, за сжатым сечением // Ирригация и мелиорация. –Ташкент: 2016. №2. С. 40-50. - **материалы конференций**

4. Bakiev M., Majidov I., Nosirov B., Xo'jaqulov R., Rahmatov M. Gidrotexnika inshootlari // Yangi asr avlodi nashriyoti. -Toshkent: 2008. -440 с. - **книга**

5. Bakiev M., Majidov I., Nosirov B., Xo'jaqulov R., Saidov I. *Gidrotexnika inshootlarini loyihalash // Fan va texnologiya nashriyoti*. -Toshkent: 2013. № 2. С. 5-10. - **материалы конференций**
6. Кашенко Н.А., Попов А.В. *Геоинформационные системы. Учебное пособие*. –Нижний Новгород: 2012. -131 с. - **книга**
7. *Вычислительная геометрия, применение в проектировании и на производстве / А. Фокс, М. Пратт. Пер. с англ. Г.П. Бабенко, Г.П. Воскресенского*. – М.: Мир. 1982. -304 с. - **книга**
8. Фукс А.Л. *Разработка и исследование алгоритмов интерполяции однозначных поверхностей цифровых моделей рельефа. Автореферат*, -Томск: 2001. -24 с. - **автореферат диссертации**
9. Кулик С.Д. *Элементы теории принятия решений (критерии и задачи)*. -М.: НИЯУ МИФИ. 2010. –188 с. - **книга**
10. Макарова Л.В., Тарасов Р.В. *Квалиметрия*. -Пенза: ПГУАС. 2016. -168 с. - **книга**
11. Елтаренко Е. А. *Оценка и выбор решений по многим критериям / Моск. гос. инженер. -физ. ин-т (техн. ун-т), -М.: МИФИ, 1995. -111 с. ISBN 5-7262-0167-1 - книга*

Д.Ф. Кучкарова¹, Д.А. Ачилова², Б.С. Исматов³, Ш.Ф. Сүйінов⁴

^{1,3,4} «Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлері институты» Ұлттық зерттеу университеті, Ташкент, Өзбекстан

²Беларусь-Өзбек бірлескен Ташкент салааралық қолданбалы техникалық біліктілік институты, Ташкент Өзбекстан

Эксперттік бағалау негізінде гидротехникалық құрылыс жобасын таңдау алгоритмдері

Аңдатпа. Бұл мақалада гидротехникалық құрылыстарды жобалаудың жалпы алгоритмдері және олар үшін қажетті сапа көрсеткіштері негізінде оңтайлы жобаны таңдау алгоритмдері қарастырылады. Өртүрлі критерийлер бойынша бір-бірімен бәсекелесе алатын бірнеше гидротехникалық құрылыс жобалары жасалуда.

Эксперттік әдіс арқылы осы жобаларды бағалау процесін автоматтандыру үшін алгоритмдер әзірленді. Delphi және Pareto әдістерінің негізінде жобаның ең қолайлы нұсқасын таңдау әдістемесі әзірленді. Ұсынылған алгоритмдер бағдарламалау тілдеріне бейімделген. Геодезиялық мәліметтерді талдаудан бастап, алынған жобаларды Парето оңтайландыруына дейін оңай рәсімделген қадамдар тізбегі. Ұсынылған қадамдар тізбегі бастапқы деректер негізінде әртүрлі жобаларды құруды және олардың арасынан шешім қабылдаушы көзқарасы бойынша ең қолайлысын таңдауды қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: аймақтың геоморфологиялық талдауы, Парето оңтайландыру әдісі, эксперттік әдіс, Delphi әдісі.

D.F. Kuchkarova¹, D.A. Achilova², B.S. Ismatov³, Sh.G. Suyunov⁴

^{1,3,4}National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”, Tashkent, Uzbekistan

²Joint Belarusian-Uzbek Intersectoral Institute of Applied Technical Qualifications in the city of Tashkent, Tashkent, Uzbekistan

Algorithms for selecting a hydraulic structure design based on expert assessments

Abstract. This article discusses general algorithms for the design of hydraulic structures and algorithms for selecting the optimal design based on the quality indicators required for them. Several hydraulic structure projects are being created that can compete with each other based on various criteria. Algorithms have been developed to automate the process of evaluating these projects using the expert method. Based on the Delphi and Pareto methods, a methodology for selecting the most appropriate project option has been developed. The proposed algorithms are adapted to programming languages. Universality lies in the sequence of easily formalized steps, starting from the analysis of geodetic data to Pareto optimization of the resulting projects. The proposed sequence of steps ensures the generation of multiple projects based on initial data and the selection of the most acceptable from the point of view of the decision maker.

Keywords: geomorphologic analysis of the area, Pareto optimization method, expert method, Delphi method.

References

1. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan UP-No. 6200 "On measures to further improve the system of public administration and control in the use of water resources and ensure the safety of water bodies" [Ukaz Prezidenta Respubliki Uzbekistan UP-№. №6200 «O merakh po dal'neysheму sovershenstvovaniyu sistemy gosudarstvennogo upravleniya i kontrolya v sfere ispol'zovaniya vodnykh resursov i obespecheniyu bezopasnosti vodnykh ob'yektov»] dated April 6 (Tashkent, 2021, 354 p.) [in Russian].

2. Bakiev M.R., Shukurova S.E. Regulation of channels by a combined dam with a flooded through part of variable development as a way to increase the efficiency of irrigated agriculture [Regulirovaniye kanalov kombinirovannoy plotinoy s zatoplennoy skvozhnoy chast'yu peremennoy zastroyki kak put' povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya] // Irrigation and Melioration. (Tashkent, 2016, No. 3. pp. 39-42.) ISSN 2181-8584 [in Russian].

3. Bakiev M.R., Shukurova S.E. About the spreading of a flow, symmetrically constrained by combined dams with stepped construction, behind a compressed section [O rasprostraneniі potoka, simmetrichno sderzhivayemogo kombinirovannymi plotinami stupenchatoy konstruktsii, za szhatym uchastkom] // Irrigation and Melioration. (Tashkent, 2016, No. 2. pp. 40-50) [in Russian].

4. Bakiev M., Majidov I., Nosirov B., Xo'jaqulov R., Raxmatov M. Hydraulic engineering inshootlari [Gidrotekhnika inshootlari] // Yangi asr avlodi nashriyoti. (Toshkent, 2008, 440 p.) [in Russian].

5. Bakiev M., Majidov I., Nosirov B., Xo'jaqulov R., Saidov I. Hydraulic engineering inshootlarini loyihalash [Gidrotexnika inshootlarini loyihalash] // Fan va texnologiya nashriyoti. (Toshkent, 2013. No. 2. P. 5-10.) [in Russian].

6. Kashenko N.A., Popov A.V. Geographic information systems [Geograficheskiye informatsionnyye sistemy] Tutorial. (Nizhny Novgorod, 2012, 131 p.) [in Russian]

7. Computational geometry, application in design and production [Vychislitel'naya geometriya, primeneniye v proyektirovanii i proizvodstve] / A.

Fox, M. Pratt. Per. from English G.P. Babenko, G.P. Voskresensky. (Moscow, 1982, 304 p.) [in Russian].

8. Fuks A.L. Development and research of algorithms for interpolation of single-valued surfaces of digital elevation models. [Razrabotka i issledovaniye algoritmov interpolyatsii odnoznachnykh poverkhnostey tsifrovyykh modeley rel'yefa] Abstract. (Toshkent, 2001, 24 p.) [in Russian].

9. Kulik S.D. Elements of decision theory (criteria and objectives). [Elementy teorii prinyatiya resheniy (kriterii i tseli)] (Moscow, 2010, 188 p.) [in Russian].

10. Makarova L.V., Tarasov R.V. Qualimetry. [Kvalimetriya] (Penza, 2016, 168 p.) [in Russian].

11. Eltarenko E. A. Assessment and selection of solutions based on many criteria [Otsenka i vybor resheniy na osnove mnozhestva kriteriyev] / Moscow. state engineer. physics Institute (Technical University) (Moscow, 1995, 111 p.) ISBN 5-7262-0167-1 [in Russian].

Сведения об авторах:

Кучкарова Диларом Файзуллаевна - автор для корреспонденции, д.т.н, профессор Национального исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», ул. Кори Ниёзий 39, Ташкент, Узбекистан.

Ачилова Дилноза Ахматовна - PhD, доцент Совместного Белорусско-Узбекского межотраслевого института прикладных технических квалификаций в городе Ташкенте, ул. Карамурт 1, Ташкент, Узбекистан.

Исмамов Бахтиёр Садуллаевич - докторант, Национального исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», ул. Кори Ниёзий 39, Ташкент, Узбекистан.

Суюнов Шахзод Гуломович - докторант, Национального исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», ул. Кори Ниёзий 39, Ташкент, Узбекистан.

Авторлар туралы мәліметтер:

Кучкарова Диларом Файзуллаұлы – хат-хабар авторы, техника ғылымдарының докторы, «Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын механикаландыру

инженерлері институты» Ұлттық зерттеу университетінің профессоры, Қори Ниёзий көш. 39, Ташкент, Өзбекстан.

Ачилова Дильноза Ахматқызы – PhD, Ташкент қаласындағы Беларусь-Өзбек Бірлескен салааралық қолданбалы техникалық біліктілік институтының доценті, Қарамұрт көш. 1, Ташкент, Өзбекстан.

Исмамов Бахтиер Садуллаұлы – докторант, «Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлері институты» Ұлттық зерттеу университеті, Қори Ниёзий көш. 39, Ташкент, Өзбекстан.

Суюнов Шахзод Гуломұлы – докторант, «Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлері институты» Ұлттық зерттеу университеті, Қори Ниёзий көш. 39, Ташкент, Өзбекстан.

Information about the authors:

Kuchkarova Dilarom Faizullaevna - corresponding author, Doctor of Technical Sciences, Professor of the National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers", st. Kori Niyoziy 39, Tashkent, Uzbekistan.

Achilova Dilnoza Akhmatovna - PhD, associate professor at the Belarus-Uzbek Joint Interdisciplinary Applied Technical Qualification Institute, st. Karamurt 1, Tashkent, Uzbekistan.

Ismatov Bakhtier Sadullaevich - PhD student, National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers", st. Kori Niyoziy 39, Tashkent, Uzbekistan.

Suyunov Shahzod Gulomovich - PhD student, National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers", st. Kori Niyoziy 39, Tashkent, Uzbekistan.