

МРНТИ 67.07.81.

<https://doi.org/10.32523/2220-685X-2024-73-2-17-31>

Научная статья

**Д.Ф. Кучкарова<sup>1\*</sup> , Д.А. Ачилова<sup>2</sup> , Б.С. Исматов<sup>3</sup> , Ш.Г. Суюнов<sup>4</sup> **

<sup>1,3,4</sup>Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», Ташкент, Узбекистан

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

E-mail: <sup>1</sup>[kuchkarova-dilarom@yandex.ru](mailto:kuchkarova-dilarom@yandex.ru), <sup>2</sup>[di-ahmatovna@mail.ru](mailto:di-ahmatovna@mail.ru), <sup>3</sup>[baxtiyorismatov26@gmail.com](mailto:baxtiyorismatov26@gmail.com),  
<sup>4</sup>[ssuyunov44@gmail.com](mailto:ssuyunov44@gmail.com)

## Алгоритмы выбора проекта гидротехнического сооружения на основе экспертных оценок

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены общие алгоритмы проектирования гидротехнических сооружений, а также алгоритмы выбора оптимального проекта на основе предъявляемых к ним показателей качества. В процессе проектирования создается несколько вариантов гидротехнического сооружения, которые могут конкурировать между собой по различным критериям, таким как стоимость, долговечность, безопасность, устойчивость к внешним воздействиям и другие. Разработаны алгоритмы, позволяющие автоматизировать процесс оценки этих проектов с использованием экспертного метода. В качестве методов оценки использованы методы Дельфи и Парето. Разработана методика выбора наиболее приемлемого варианта проекта, которая позволяет эффективно учитывать все ключевые параметры. Предложенные алгоритмы легко адаптируются к языкам программирования, что делает процесс проектирования гибким и удобным. Система шагов, начиная от анализа геодезических данных и заканчивая Парето-оптимизацией полученных проектов, позволяет генерировать множество решений и выбрать наиболее приемлемое, соответствующее требованиям и предпочтениям лица, принимающего решения. Предлагаемая последовательность шагов

Поступила: 27.03.2024; Доработана: 14.04.2024; Одобрена: 09.05.2024; Доступна онлайн: 30.06.2024

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.

## 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 ориентированы на использование разнообразных подходов к созданию многочисленных объектов. Гидротехнические сооружения играют ключевую роль в обеспечении устойчивого водоснабжения и управления водными ресурсами в Республике Узбекистан. В условиях засушливого климата и изменений окружающей среды проблема рационального использования водных ресурсов приобретает особую актуальность. Строительство таких объектов связано с необходимостью учета множества факторов, включая географические, сейсмологические и экологические особенности. В связи с этим важнейшим элементом проектирования становится создание качественных и безопасных гидротехнических сооружений. В последние годы автоматизированные системы проектирования (САПР), такие как

CAD/CAM/CAE, значительно упростили процесс проектирования и позволили ускорить принятие оптимальных решений. Применение таких технологий в гидротехническом строительстве способствует улучшению качества проектирования, повышению эффективности работы и снижению затрат на проектирование и строительство.

### **Методы и материалы**

Методология проектирования гидротехнических сооружений с использованием САПР включает несколько этапов, начиная с анализа проектной ситуации и заканчивая тестированием и выбором оптимального проекта. На первом этапе проводится исследование географических, топографических и сейсмологических особенностей местности, на основе которых создаются проектные чертежи. Далее с использованием специализированных программ строятся контуры и горизонтали, после чего проектные решения уточняются с учетом строительных норм и правил. Важной частью процесса является генерация множества вариантов проектов, среди которых необходимо выбрать оптимальное решение. Этот процесс осуществляется с помощью методов многокритериальной оптимизации, в том числе с использованием экспертных оценок для анализа различных критериев качества проекта. Оценка качества проводится с учетом таких показателей, как экономичность, безопасность, долговечность, и устойчивость к внешним воздействиям. После оценки всех вариантов проекта производится выбор наиболее оптимального с использованием методов Парето-оптимизации, что позволяет выбрать проект, максимально соответствующий поставленным задачам.

### **Результаты и обсуждение**

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. 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 горизонтали 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 горизонтали;

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.

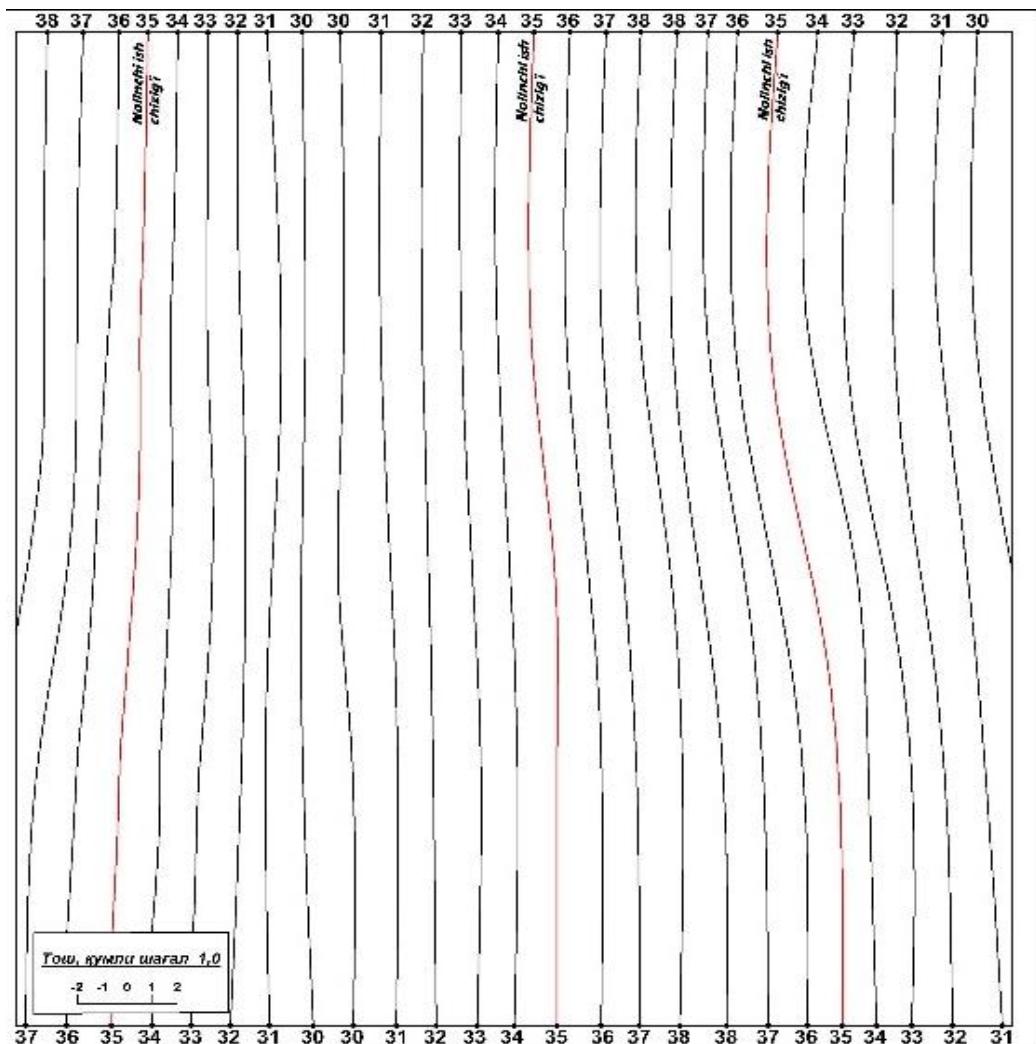


Рисунок 1 -Горизонтали рельефа

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].

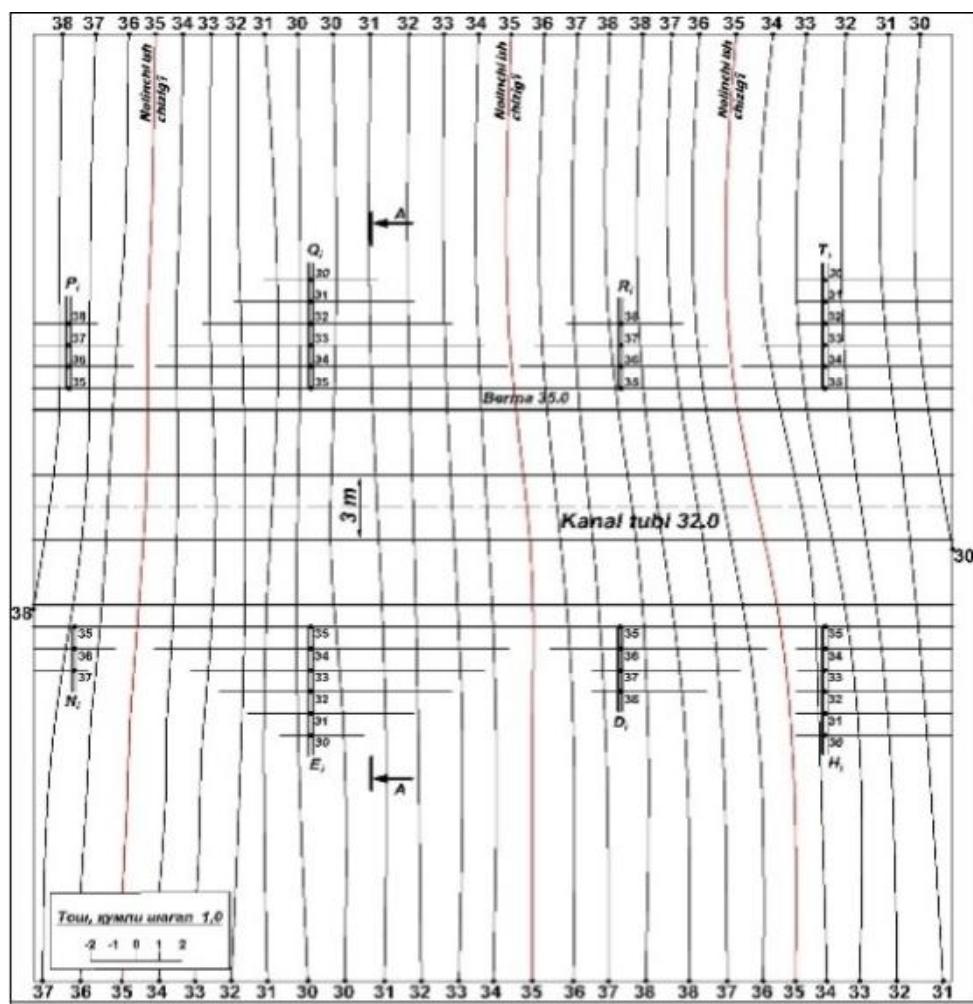


Рисунок 2 -Построение контура канала

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, ремонтопригодности), 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.

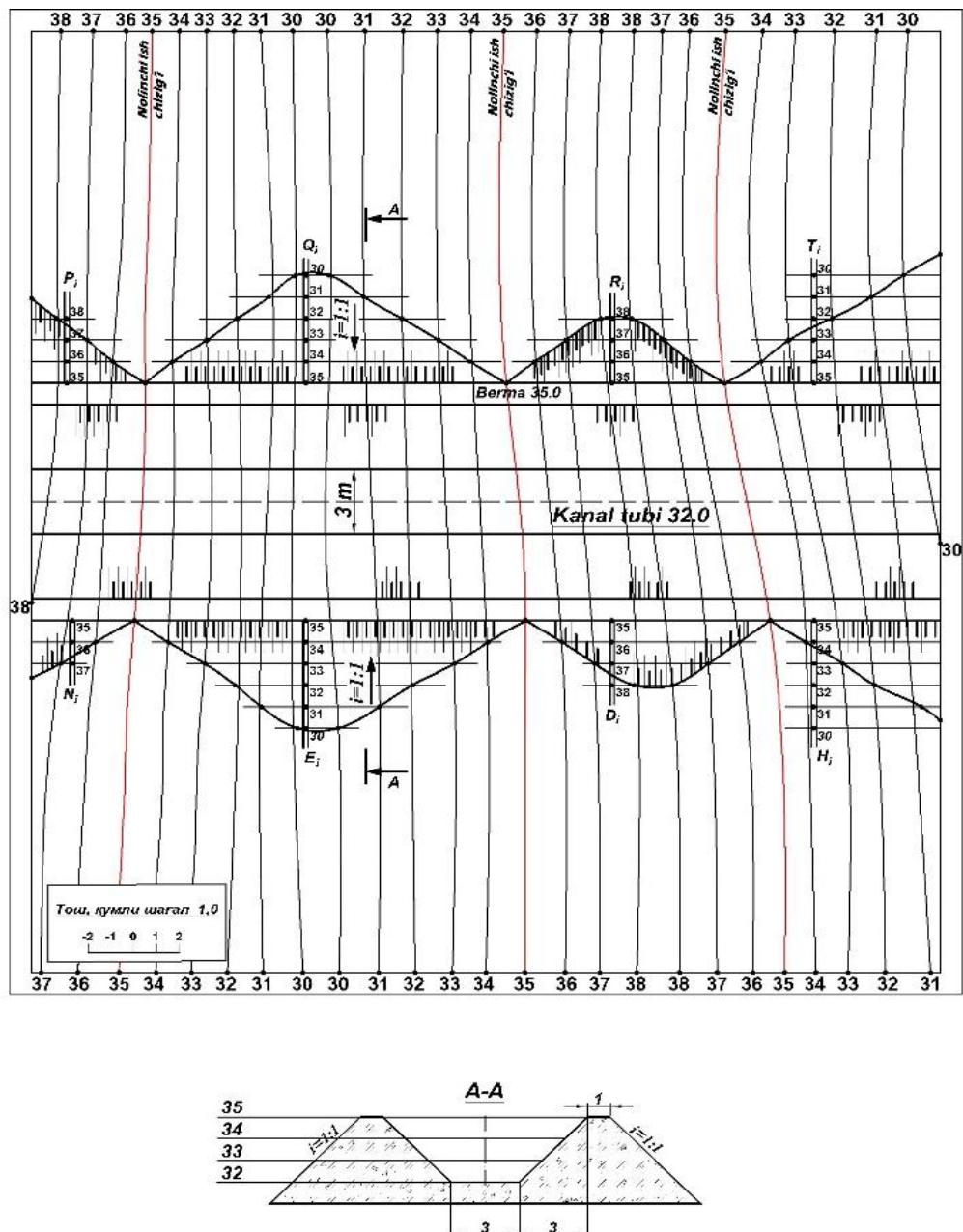


Рисунок 3 - Граница земляных работ и разрез А-А

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.

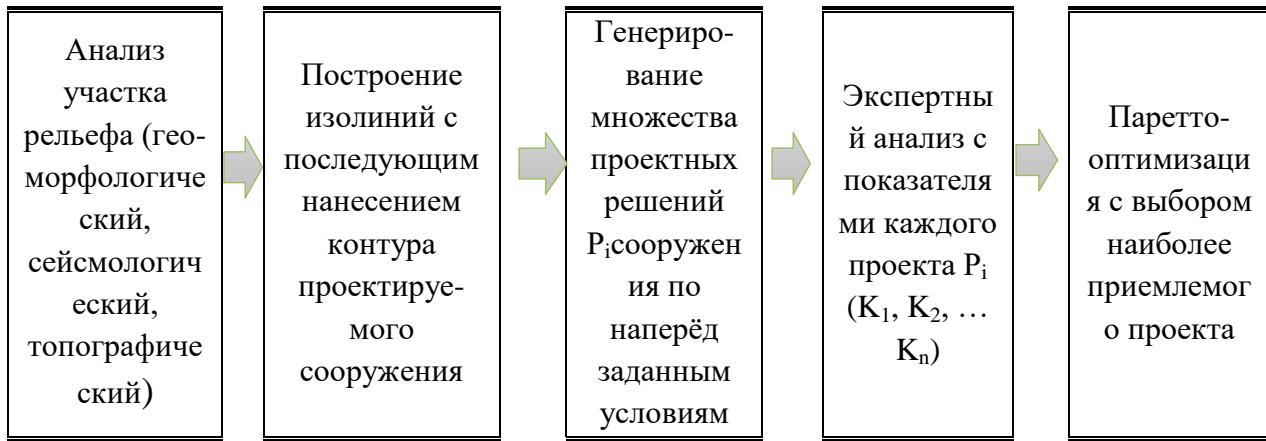


Рисунок 4 -Алгоритм выбора проекта

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.

Использование САПР в проектировании гидротехнических сооружений позволяет существенно повысить качество и точность проектных решений, ускорить процесс разработки и внедрения новых объектов. Особенno важным является применение методов оптимизации, которые помогают выбрать наиболее эффективный проект из множества возможных вариантов. Например, метод Парето-оптимизации помогает выделить проекты, которые наилучшим образом сбалансираны по всем критериям качества, таким как стоимость, долговечность, безопасность и устойчивость к внешним воздействиям. В ходе экспертизы с использованием методов, таких как «Дельфи», производится анализ мнений нескольких специалистов, что

позволяет учесть различные перспективы и прийти к наиболее обоснованному решению.

## 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). Однако важно отметить, что выбор оптимального решения не всегда является линейным процессом. Он может варьироваться в зависимости от конкретных условий местности, требований заказчика и других внешних факторов. В этом контексте использование САПР становится важным инструментом для снижения рисков и повышения эффективности проектирования, обеспечивая как точность, так и экономическую выгоду на всех этапах жизненного цикла гидротехнического сооружения.

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

4. Bakiev M., Majidov I., Nosirov B., Ho'jaqulov R., Raxmatov M. Gidrotexnika inshootlari // Yangi asr avlodi nashriyoti. -Toshkent: 2008. - 440 с.
5. Bakiev M., Majidov I., Nosirov B., Ho'jaqulov R., Saidov I. Gidrotexnika inshootlarini loyihalash // Fan va texnologiya nashriyoti. -Toshkent: 2013. - № 2. - С. 5-10.
6. Густерин, И. А. Гидротехнические сооружения и проектирование водоснабжения / И. А. Густерин. — М.: Стройиздат, 2015. — 320 с. — ISBN 978-5-7778-1687-3.
7. Тарасенко, В. Н. Основы гидротехнического строительства / В. Н. Тарасенко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург: Питер, 2016. — 416 с. — ISBN 978-5-4461-0342-9.
8. Кошкин, П. С. Автоматизация проектирования гидротехнических объектов / П. С. Кошкин, И. В. Лукичев. — Ташкент: УзГИДРОН, 2018. — 256 с. — ISBN 978-5-8975-0231-5.
9. Головин, Ю. М. Современные методы проектирования гидротехнических сооружений / Ю. М. Головин. — М.: Высшая школа, 2017. — 292 с. — ISBN 978-5-06-028654-1.
10. Павлов, С. В. Водные ресурсы и гидротехнические сооружения / С. В. Павлов. — Ташкент: Ташкентский университет, 2019. — 480 с. — ISBN 978-5-8739-0031-2.

**Д.Ф. Кучкарова<sup>1</sup>, Д.А. Ачилова<sup>2</sup>, Б.С. Исматов<sup>3</sup>, Ш.Ф. Сұйінов<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup> «Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлери институты» Үлттүк зерттеу университеті, Ташкент, Өзбекстан

<sup>2</sup>Беларусь-Өзбек бірлескен Ташкент салааралық қолданбалы техникалық біліктілік институты, Ташкент Өзбекстан

## Эксперттік бағалау негізінде гидротехникалық құрылыш жобасын таңдау алгоритмдері

**Аңдатпа.** Бұл мақалада гидротехникалық құрылыштарды жобалаудың жалпы алгоритмдері, сондай-ақ оларға ұсынылған сапа көрсеткіштері негізінде онтайлы жобаны таңдау алгоритмдері қарастырылады. Жобалау процесінде гидравликалық құрылыштың бірнеше нұсқалары жасалады, олар әртүрлі критерийлер бойынша бір-бірімен бәсекелесе алады, мысалы, құны, ұзақ мерзімділігі, қауіпсіздігі, сыртқы әсерлерге тәзімділігі және басқалары. Эксперттік әдіс арқылы осы жобаларды бағалау процесін автоматтандыруға мүмкіндік беретін алгоритмдер әзірленді. Бағалау әдістері ретінде Delphi және Pareto әдістері қолданылды. Жобаның ең

қолайлы нұсқасын таңдау әдістемесі әзірленді, ол барлық негізгі параметрлерді тиімді есепке алуға мүмкіндік береді. Ұсынылған алгоритмдер бағдарламалау тілдеріне оңай бейімделген, бұл жобалау процесін икемді және ыңғайлы етеді. Геодезиялық мәліметтерді талдаудан бастап және нәтижесінде алынған жобаларды Парето оңтайландыруға дейін аяқталатын қадамдар жүйесі шешім қабылдаушының талаптары мен қалауына сәйкес келетін көптеген шешімдерді жасауға және ең қолайлысын таңдауға мүмкіндік береді. Ұсынылған қадамдар тізбегі бастапқы деректер негізінде жобалар кешенін құруды және шешім қабылдаушы көзқарасы бойынша ең қолайлысын таңдауды қамтамасыз етеді.

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

**D.F. Kuchkarova<sup>1</sup>, D.A. Achilova<sup>2</sup>, B.S. Ismatov<sup>3</sup>, Sh.G. Suyunov<sup>4</sup>**

<sup>1,3,4</sup>*National Research University “Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers”, Tashkent, Uzbekistan*

<sup>2</sup>*Joint 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.** The article discusses general algorithms for designing hydraulic structures, as well as algorithms for selecting the optimal design based on the quality indicators presented to them. In the design process, several versions of hydraulic structures are created that can compete with each other on various criteria, such as cost, durability, safety, resistance to external influences, and others. Algorithms have been developed that allow automating the process of evaluating these projects using an expert method. The Delphi and Pareto methods were used as evaluation methods. A technique has been developed for selecting the most suitable project option, which allows for all key parameters to be effectively taken into account. The proposed algorithms are easily adapted to programming languages, which makes the design process flexible and convenient. The system of steps, starting from the analysis of geodetic data and ending with Pareto optimization of the resulting projects, allows for the formation of a variety of solutions that meet the requirements and preferences of the decision maker, and for

selecting the most suitable one. The proposed sequence of steps ensures the creation of a set of projects based on the initial data and the selection of the most suitable one 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-№ 6200 "On measures to further improve the system of state management and control in the use of water resources and ensuring the safety of water bodies" dated April 6, 2021. - Tashkent: - 354 p.
2. Bakiev MR, Shukurova SE Regulation of channels by a combined dam with a flooded through part of variable development - a way to increase the efficiency of irrigated agriculture // Irrigation and land reclamation. - Tashkent: 2016. - No. 3. P. 39-42. - ISSN 2181-8584
3. Bakiev MR, Shukurova SE On the spreading of a flow symmetrically constrained by combined dams with stepped development, behind a compressed section // Irrigation and land reclamation. – Tashkent: 2016. - No. 2. - P. 40-50.
4. Bakiev M., Majidov I., Nosirov B., Xo'jaqulov R., Raxmatov M. Gidrotexnika inshootlari // Yangi asr avlod nashriyoti. -Toshkent: 2008. - 440 p.
5. Bakiev M., Majidov I., Nosirov B., Xo'jaqulov R., Saidov I. Gidrotexnika inshootlarini loyihalash // Fan va texnologiya nashriyoti. -Toshkent: 2013. - No. 2. - P. 5-10.
6. Gusterin, I. A. Hydraulic structures and water supply design / I. A. Gusterin. — M.: Stroyizdat, 2015. — 320 p. — ISBN 978-5-7778-1687-3.
7. Tarasenko, V. N. Fundamentals of hydraulic engineering / V.N. Tarasenko. — 2nd ed., revised and add. — St. Petersburg: Piter, 2016. — 416 p. - ISBN 978-5-4461-0342-9.
8. Koshkin, P. S. Automation of design of hydraulic structures / P. S. Koshkin, I. V. Lukichev. — Tashkent: UzGIDRON, 2018. — 256 p. — ISBN 978-5-8975-0231-5.
9. Golovin, Yu. M. Modern methods of designing hydraulic structures / Yu. M. Golovin. — M.: Vysshaya shkola, 2017. — 292 p. — ISBN 978-5-06-028654-1.
10. Pavlov, S. V. Water resources and hydraulic structures / S. V. Pavlov. — Tashkent: Tashkent University, 2019. — 480 p. — ISBN 978-5-8739-0031-2.

## Авторлар туралы мәліметтер:

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

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

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

**Исматов Баҳтиер Садулаұлы** – докторант, «Ташкент ирригация және ауыл шаруашылығын механикаландыру инженерлері институты» Үлттық зерттеу университеті, Қори Ниёзий көш. 39, Ташкент, Өзбекстан.

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

### 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, Узбекстан.

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

**Исматов Баҳтиёр Садулаевич** - докторант Национального исследовательского университета «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», ул. Кори Ниёзий 39, Ташкент, Узбекстан.

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

### 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.