

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БАССЕЙНОВ РЕК СЫРДАРЬИ И АМУДАРЬИ ПОСРЕДСТВОМ “CSTR”

Юсупов М.Ч., Шомуродов З.Б.*

Технологический университет Таджикистана

*Хорогский государственный университет им. М. Назаршоева

Описание математической модели. На реке Сырдарья расположены три крупные водохранилища: Тактогульское, Андижанское и Кайраккумское. Их состояние (объём воды) соответственно обозначим через $x^T(t)$, $x^A(t)$, $x^K(t)$. Динамика изменения состояния водохранилищ описывается с помощью следующих систем обыкновенных дифференциальных уравнений [3]:

Участок I (Тактогульское)

$$\begin{aligned} \frac{dx^T}{dt} &= V_1^T(t) - u_1^T(t) \\ x^T(0) &= x_T^+ \\ u_1^T(t) &\geq \omega^T(t), \\ V_1^T(t) &\geq 0, \quad u_1^T(t) \geq 0, \quad \omega^T(T) \geq 0, \\ x_T^- &\leq x^T(t) \leq x_T^+. \end{aligned} \quad (1)$$

Участок II (Андижанское)

$$\begin{aligned} \frac{dx^A}{dt} &= V_3^A(t) - u_2^A(t) \\ x^A(0) &= x_A^+ \\ u_2^A(t) &\geq \omega^A(t), \\ V_3^A(t) &\geq 0, \quad u_2^A(t) \geq 0, \quad \omega^A(T) \geq 0, \\ x_A^- &\leq x^A(t) \leq x_A^+. \end{aligned} \quad (2)$$

Участок III (Кайраккумское)

$$\begin{aligned} \frac{dx^K}{dt} &= V_r^K(t) - \omega_7^K(t) - u_3^K(t) \\ x^K(0) &= x_K^+ \\ V_r^K(t) &= V^c(t) - (\omega_5^K(t) - \omega_6^K(t)) + V_5^K \\ u_3^K(t) &\geq \omega^K(t), \\ V_r^K(t) &\geq 0, \quad V^c(t) \geq 0, \quad u_3^K(t) \geq 0, \quad \omega^K(T) \geq 0, \\ x_K^- &\leq x^K(t) \leq x_K^+. \end{aligned} \quad (3)$$

где $x^i(0)$ - начальные состояния водохранилищ, соответственно для $i = T, A, K$; x_i^- , x_i^+ - соответственно минимальные и максимальные допустимые объёмы водохранилищ для $i = T, A, K$ [2].

При заданных функциях $u_1^T(t), u_2^A(t), u_3^K(t)$ и заданных начальных условиях $x^T(0) = x_T^+$, $x^A(0) = x_A^+$ и $x^K(0) = x_K^+$ система уравнений (1), (2), (3) определяет состояние водохранилищ в произвольный момент времени t (Задача Коши) [3].

Простая прогонка модели, без рассмотрения оптимизационных задач, то есть, когда требуется удовлетворить требования водопользователей $\omega_i^j(t)$, $j = T, A, K$, $i = \overline{1, 3}$ в соответствии с системой соотношений (1)-(3) при заданных величинах проточности, водозаборов и других прочих параметров, определяет состояние системы любого участка в произвольный момент времени t . Такая модель может быть рассмотрена и в разрезе многолетнего периода при известных величинах наблюдений приточности к водохранилищам [1, 2, 4].

Однако взаимоотношения в трансграничном бассейне во многом определяются стратегией водodelения и водопользования государств. Исходя из этого можно моделировать различные сценарии водodelения, в зависимости от стратегии водопользования каждого государства в отдельности и в целой коалиции.

Так, например, Кыргызстан заинтересован в максимальном использовании водных запасов Токтогульского водохранилища в энергетических целях. Аналогичную задачу перед собой может поставить Таджикистан по использованию Кайраккумского водохранилища. Но согласно межгосударственным соглашениям для каждого государства участников использования водных ресурсов воды реки Сырдарьи установлены квоты на используемый объём воды и страны Кыргызстан и Таджикистан обязаны удовлетворить потребности стран нижнего водопользования (Казахстана и Узбекистана). Поэтому возможны различные сценарии водопользования водных ресурсов реки Сырдарьи [4, 5].

Заметим, что все сценарии водodelения рассмотрены на примере трансграничного бассейна реки Сырдарьи, где функционируют водохранилища: Токтогульское в Кыргызстане и Кайраккумское в Таджикистане. В бассейне реки Амударьи аналогичным образом рассматриваются функционирование Рогунского и Нурекского водохранилищ на реке Вахш в Таджикистане и Туямуянского водохранилища на реке Амударьи в Узбекистане.

Компьютерное моделирование. Численная реализация и компьютерное моделирование представленной модели (например, на базе объектно-ориентированного языка Borland Delphi) позволяет рассмотреть различные сценарии водопользования и водопотребления в рассматриваемом бассейне трансграничной реки. При этом можно рассматривать как отдельные участки бассейна, так и по всему руслу трансграничной реки (рисунок 1) [3].

Структура главного меню пользователя (рисунок 2) основывается на блочно-иерархическом принципе, когда пользователь может выбрать тот или иной пункт меню произвольно или же на основе строго упорядоченной логики просмотра информации идти по блокам информационной системы.

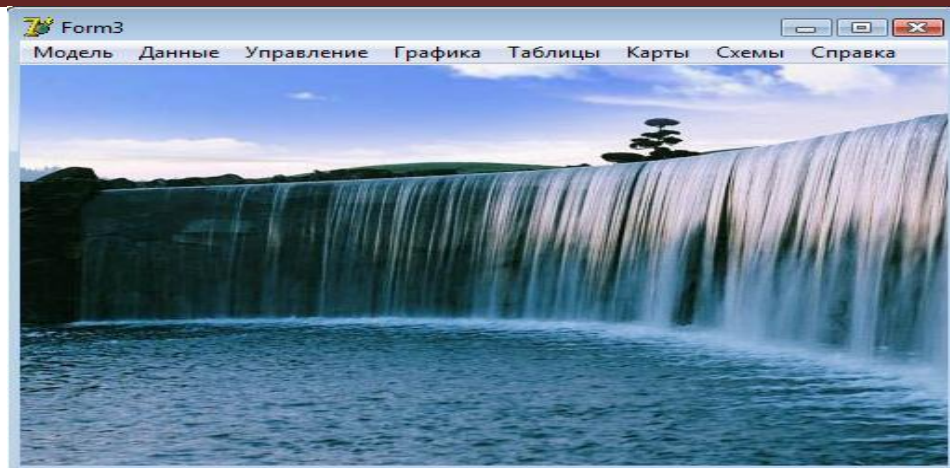


Рисунок 1. Главное меню.

Что касается непосредственного участия пользователя в процессе формирования сценариев, то оно осуществляется в рамках блока “Данные”. В данном блоке ему предоставляется возможность либо просмотреть демо-версию, либо самому непосредственно изменять входные данные по тем или иным объектам.

Аналогичная структурная схема реализована для всех блоков системы (см. рис. 2а,б) [1].

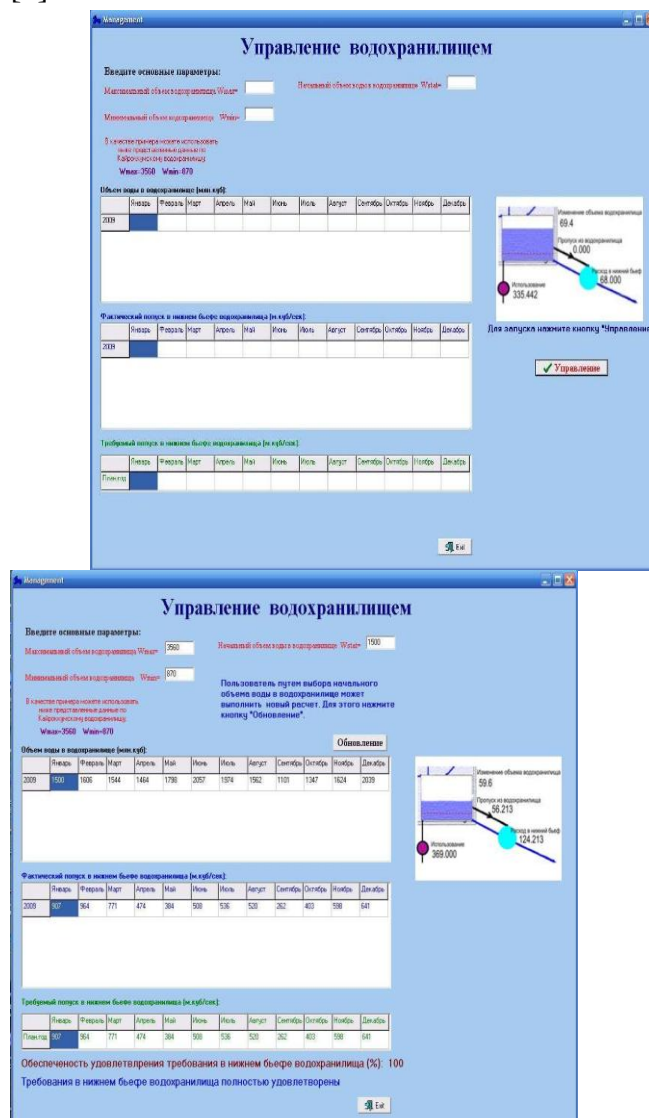


Рисунок 2. Окно управления водохранилищем

а) демо-версия управления
водохранилищемб) изменение входных данных
водохранилища

Разработка сценариев водопользования является важной составляющей для принятия решений по оценке водного баланса в бассейне трансграничной реки Сырдарья. Интересы стран зоны формирования сосредоточены на энергетическом использовании водных ресурсов, в то время как страны зоны потребления используют водные ресурсы бассейна для удовлетворения требований орошаемого земледелия. В этих условиях имеет место конфликт интересов.



Рисунок 3. Первый сценарий.

В этой связи основной задачей является нахождение приемлемых вариантов сотрудничества стран по использованию водных ресурсов рассматриваемого бассейна, которые способствуют смягчению напряженности в регионе. Для этого, в принципе, предлагается компьютерное моделирование возможных сценариев водопользования, в процессе которого пользователи данной системы смогут смоделировать различные ситуации использования воды, их распределения между водопотребителями и водопользователями, а также определить баланс воды в выбранных бассейновых участках трансграничной реки (рисунки 3-6) [1-2].

Form42

ВТОРОЙ СЦЕНАРИЙ

Режим работы водохранилища - энергетический.
 В качестве притока в водохранилище, расположенного на территории государства В, рассматривается в среднем многолетний приток, образующийся вследствие пуща воды из водохранилищ, расположенных на территории государства А, работающих в энергетическом режиме, которые ориентированы на удовлетворение собственной потребности в выработке электроэнергии.

Приток (м.куб./сек):

янв	фев	март	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
948	940	740	603	484	476	377	342	357	510	758	999

В качестве пуща воды из водохранилища, расположенного на территории государства В, рассматривается в среднем многолетний пущ в энергетическом режиме, который ориентирован на удовлетворение собственной потребности в выработке электроэнергии.

Пущ (м.куб./сек):

янв	фев	март	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
907	964	771	474	384	508	536	520	262	403	598	641

Пользователь может вводить в качестве значений притока и пуща либо вышеприведенные данные, либо собственные данные.
 При вводе собственных данных пользователь может работать с многолетним притоком, т.е. выбрать в качестве N несколько лет и обязательно вести их значения.
 Выберите число M месяцев регулирования:
 месяц M:
 Выберите число N годов регулирования:
 год N: Убедитесь, что введенные вами данные совпадают с числом N годов регулирования.

Введите значения притока (м.куб/сек)

2020	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
	948	940	740	603	484	476	377	342	357	510	758	999

Введите значения пуща воды (м.куб/сек)
 После считывания можете произвести корректировку и дозополнения данных. Нажатие кнопки "Обновление" обеспечивает очистку введенных полей. Для сохранения данных нажмите кнопку "Запись в файл". Нажатие кнопки "Визуализация" показывает график притока и пуща воды.

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
План год	907	964	771	474	384	508	536	520	262	403	598	641

График приточность и пущ

Запись в файл Обновление Визуализация Exit

Рисунок 4. Второй сценарий.

Form43

ТРЕТИЙ СЦЕНАРИЙ

Режим работы водохранилища : ирригационно-энергетический.
 В качестве притока в водохранилище, расположенного на территории государства В, рассматривается в среднем многолетний приток, образующийся вследствие пуща воды из водохранилищ, расположенных на территории государства А, работающих в запроектированном режиме.

Приток (м.куб./сек):

янв	фев	март	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
470	488	428	423	670	639	641	535	302	405	513	542

Пущ (м.куб./сек):

янв	фев	март	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек
907	964	771	474	384	508	536	520	262	403	598	641

Пользователь может вводить в качестве значений притока и пуща либо вышеприведенные данные, либо собственные данные.
 Выберите число M месяцев регулирования:
 Выберите число N годов регулирования:
 месяц M:
 год N: Убедитесь, что введенные вами данные совпадают с числом N годов регулирования.

Введите значения притока (м.куб/сек)

2020	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
	470	488	428	423	670	639	641	535	302	405	513	542

Введите значения пуща воды (м.куб/сек)

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
План год	907	964	771	474	384	508	536	520	262	403	598	641

В качестве пуща воды из водохранилища, расположенного на территории государства В, рассматривается в среднем многолетний пущ в энергетическом режиме, который ориентирован на удовлетворение собственной потребности в выработке электроэнергии.

Для введения вышеприведенных данных нажмите кнопку "Считывание".

График приточность и пущ

Запись в файл Обновление Визуализация Exit

Рисунок 5. Третий сценарий.

Что касается непосредственного участия пользователя в процессе формирования сценариев, то оно осуществляется в рамках блока "Сценарий" программного комплекса "CSTR".

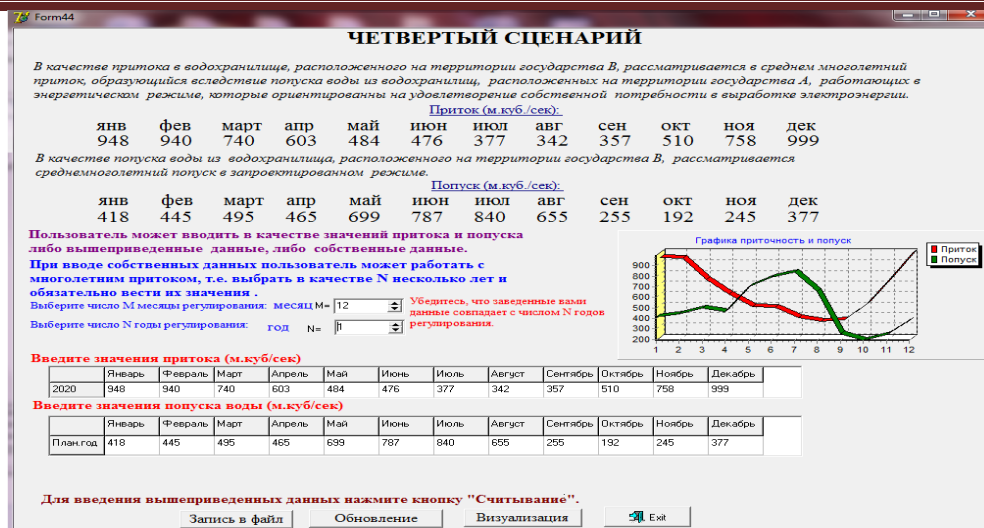


Рисунок 6. Четвёртый сценарий.

В данном блоке ему предоставляется возможность либо просмотреть демо-версию, либо самому непосредственно изменять основные технические параметры по тем или иным объектам. Аналогичная структурная схема реализована для всех блоков системы (рисунки 7-8) [2].

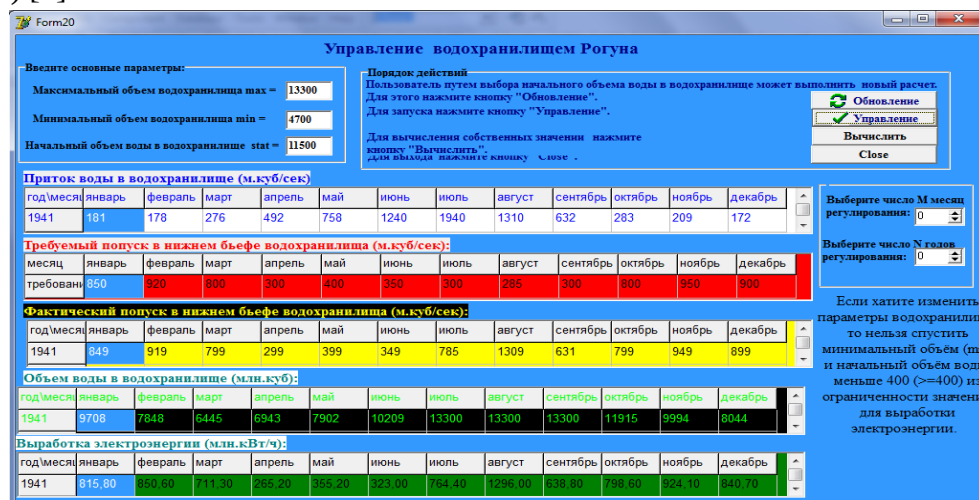


Рисунок 7. Управление водохранилищем Рогун.

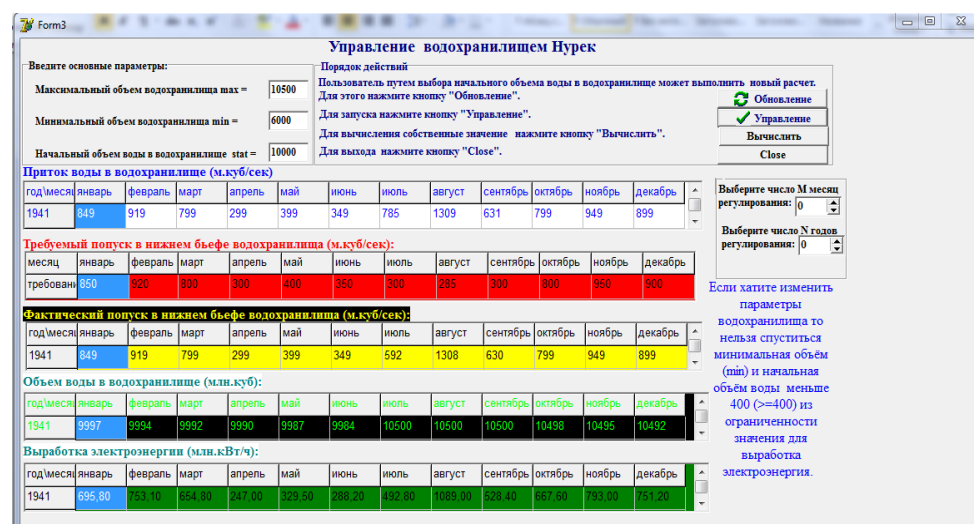


Рисунок 8. Управление водохранилищем Нурек.

Таким образом, результаты компьютерного моделирования различных сценариев водопользования водных ресурсов рек Сырдарья и Амударья показывают, что имеются оптимальные компромиссные решения удовлетворения потребностей всех участников и пользователей водных ресурсов трансграничных рек, а после ввода в действие полной мощи Рогунского водохранилища водообеспечение всех участников улучшится.

Литература:

1. Наврузов С.Т. Создание диалоговой имитационной системы управления каскадом водохранилищ на базе персонального компьютера. – Материалы XVII школы-семинара “Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования”, Ростов-на-Дону, Новороссийск. 1990, С. 122-124.
2. Наврузов С.Т., Шомуродов З.Б. Создание системы поддержки принятия решений в бассейне трансграничных рек на базе ГИС-технологии. Материалы научной конференции молодых учёных и талантливых студентов “Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность”. Сб. тезисов. ИВП РАН 16-19 август 2009, М. С. 123-126.
3. Наврузов С.Т. Имитационные модели управления водохранилищами в бассейне трансграничных рек//Сборник научных трудов ИЭТ, Выпуск №10. Часть I. - Душанбе, 2008. - С.135-145.
4. Усмонов З.Д., Наврузов С.Т. Оценка степени влияния водных ресурсов реки Вахш и реки Пяндж на разрешение конфликтных ситуаций в проблеме водodelения между странами Центральной Азии. Международная конференция по сокращению стихийных бедствий, связанных с водой. Сб. тезисов. 27 – 28 июня 2008, Душанбе, С.183-185.
5. Усманов З.Д., Юсупов М.Ч. Модельный вариант оптимального водodelения в трансграничном речном бассейне - Вестник ТУТ, 2(23), 2014, С. 33-36.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БАСЕЙНОВ РЕК СЫРДАРЬИ И АМУДАРЬИ ПОСРЕДСТВОМ “CSTR”

Статья посвящена компьютерному моделированию сценариев использования водных ресурсов трансграничных рек Сырдарья и Амударья. На основе балансовых систем уравнений состояние водохранилищ построено имитационной системой оптимального использования водных ресурсов трансграничных рек с учётом потребностей всех водопользователей. Приведены результаты компьютерного моделирования различных сценариев совместного использования водных ресурсов с учётом нужд каждого потребителя региона.

Ключевые слова: трансграничные реки, водопотребление, водохранилище, математическая модель, сценарии использования, компьютерное моделирование.

АМСИЛАСОЗИИ КОМПЮТЕРИИ ИСТИФОДАИ ЗАХИРАҶОИ ОБИИ ҲАВЗАҶОИ СИРДАРЁ ВА АМУДАРЁ

Мақола ба амсиласозии компютери сенарияҳои истифодаи оқилонаи захираҳои оби дарёҳои байнисарҳадии Сирдарё ва Амударё бахшида шудааст. Дар асоси амсилаҳои риёзии ҳолати обанборҳои ин дарёҳо барномаи компютери истифодаи оқилонаи захираҳои оби ин дарёҳо бо назардошти манфиатҳои ҳамаи истифодабардагон таҳия

карда шудааст. Натиҷаҳои ҳисобҳои амсилаи компютери сценарияҳои гуногуни истифодаи яқҷояи захираҳои обӣ бо назардошти манфиатҳои ҳама тарафҳо оварда шудаанд.

Калимаҳои калидӣ: дарёҳои байнисарҳадӣ, истифодаи обҳо, обанборҳо, амсилаи риёзӣ, сценарияҳои истифодабарӣ, амсилаи компютерӣ.

COMPUTER SIMULATION OF WATER RESOURCES USE OF THE SYRDARYA AND AMUDARYA RIVER BASINS USING THE "CSTR"

The article is devoted to computer modeling of scenarios for the use of water resources of the trans boundary rivers Syr Darya and Amu Darya. On the basis of the balance system of equations of state of reservoirs, an imitation system for the optimal use of water resources of trans boundary rivers was built, taking into account the needs of all water users. The results of computer modeling of various scenarios of joint use of water resources, taking into account the needs of each consumer in the region, are presented.

Key words: trans boundary rivers, water consumption, reservoir, mathematical model, use cases, computer modeling.

Сведения об авторах:

1. **Юсупов Мирзо Чулиевич** - к.ф.м.н., доцент Технологического университета Таджикистана, Email: mirzo_cctut@mail.ru.

2. **Шомуродов Зокир Бозмамадович** - старший преподаватель Хорогского государственного университета им. М. Назаршоева. Email: shomurodov_z@mail.ru

Information about the authors:

1. **Yusupov Mirzo Chulievich** - Ph.D., Associate Professor, Technological University of Tajikistan, Email: mirzo_cctut@mail.ru.

2. **Shomurodov Zokir Bozmamadovich** - senior lecturer at Khorog State University named after M. Nazarshoeva. Email: shomurodov_z@mail.ru

Маълумот дар бораи муаллифон:

1. **Юсупов Мирзо Чулиевич** - н.и.ф.м., дотсенти Донишгоҳи технологии Тоҷикистон, Email: mirzo_cctut@mail.ru.

2. **Шомуродов Зокир Бозмамадович** - муаллими калони Донишгоҳи давлатии шаҳри Хоруғ ба номи М. Назаршоев. Email: shomurodov_z@mail.ru.