



Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfseries.com

11th November, 2025

ИЗУЧЕНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ПРОТЕСОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ЦЕНТРОБЕЙНЫХ НОСЕКАКС, В ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Шакиров Бахтиёр Махмудович,
доктор технических наук, профессор
Андижанский институт сельского хозяйства и агротехнологий

Абдухалилов Обомуслим сын Абдумаджида
Ассистент Андижанский институт
сельского хозяйства и агротехнологий

Омонов Голиб Алмаматович
Докторант Научно-исследовательском
институте ирригации и водных проблем

Халилов Нурдиёр Ойбекович
докторант Научно-исследовательском институте
иригации и водных проблем

Аннотация:

У государственная экспертиза проекта насосной станции Азатели, анализ условий и эксплуатации, основы ее разработки, научно обоснованные технические решения и рекомендации по повышению эффективности работы насосной станции.

Ключевые слова: Насосная станция, источник воды, главное водоприемное сообщение, подводный канал, ванкамера, рабочее колесо насоса, всасывающий и напорный трубопроводы.

Введение

В мире вопросы повышения эффективности работы насосных станций, обеспечения их надежной и гарантированной эксплуатации интересуют



Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfséries.com

11th November, 2025

только машинистов. Устранение факторов, отрицательно влияющих на работу насосных станций во всем мире, достижение экономии энергии и ресурсов, применение современных методов управления технологическим процессом подачи воды являются первоочередными задачами.

Ведущие научные учреждения мира проводят научные исследования, направленные на повышение эффективности работы насосных станций, снижение энергопотребления, разработку новых технических решений и технологий. Согласно полученным данным проводятся научно обоснованные работы по модернизации проточной части центробежного насоса, анализу рабочих колес, оптимизации режимов работы насосного агрегата, совершенствованию системы управления, повышению эффективности эксплуатации.

Обзор литературы. Метод определения локальной концентрации твердых частиц и угла их удара о рабочие элементы проточной части центробежных насосов. и предложенный другими.

В настоящее время не решен в полной мере ряд вопросов по определению новых конструктивных параметров и разработке режимов работы центробежных насосов на оросительных насосных станциях, совершенствованию параметров проточной части насоса, модернизации спиральной камеры, разработке новых конструкций выходного патрубка. Исследованы основные показатели центробежных насосов с измененными параметрами проточной части, расчету интенсивной работы рабочего колеса, разработке рабочего колеса новой конструкции, получению характерных результатов путем изменения количества лопаток, изменению углов выхода и входа лопаток для уменьшения вихреобразования потока внутри насоса, разработке методики расчета кавитационно-гидроабразивного износа рабочих колес центробежных насосов, разработке рекомендаций по выбору рационального режима работы с учетом минимального износа рабочих органов насоса.



Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfséries.com

11th November, 2025

Материалы и методы . Процесс образования пузырьков в потоке жидкости в результате понижения давления в нем до давления насыщенных паров жидкости при данной температуре (т. е. кипение жидкости) называется кавитацией. При проектировании насосов производители всегда учитывают это неприятное явление. Микроудары, возникающие из-за вскипания воды (парообразования) и нарушения целостности потока в результате низких давлений в потоке жидкости, также считаются кавитацией [2]. Кавитация — сложный физический процесс, который до сих пор полностью не изучен. Из физики известно, что при понижении давления вода закипает при более низкой температуре. Например, при понижении давления до **2 кПа** вода начинает кипеть при температуре, значительно ниже ее обычной температуры кипения. В насосах, особенно во всасывающем участке, существует вероятность такого понижения давления, что в жидкости образуются пузырьки пара. Когда эта смесь пара и жидкости всасывается через лопатки рабочего колеса в секции низкого давления насоса и переходит в секцию высокого давления, пар подвергается быстрой конденсации и снова переходит в жидкое состояние. При этом пузырьки пара резко лопаются, создавая локальные гидравлические удары (гидроудары). Это вызывает очень большое повышение давления в местах за короткое время. Такие резкие колебания давления могут привести к механической эрозии и кавитационному повреждению деталей насоса. Когда паровые пузырьки лопаются, давление в их центре может достигать **десятков мегапаскалей (МПа)** . В процессе кавитации эти пузырьки лопаются в основном вокруг лопаток рабочего колеса и в местах, близких к его поверхности. Такие резкие импульсы давления оказывают серьезное механическое воздействие на рабочие элементы насоса [1]. Результирующие импульсы имеют форму **высокочастотных микроударов** (микроударов), которые приводят к локальной и быстрой эрозии лопаток рабочего колеса и поверхностей стенок. Общая прочность материала в этой области снижается за короткое время, что отрицательно сказывается на надежности и долговечности насоса. Рабочее колесо является одним из основных функциональных узлов насоса, выполняющим функцию передачи механической энергии, передаваемой



Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfséries.com

11th November, 2025

валом насоса, потоку жидкости. В зависимости от направления поступления жидкости в рабочее колесо конструктивно делятся на колеса с односторонним и двусторонним водозабором. В односторонних рабочих колесах жидкость подается только с одной стороны, тогда как в двухсторонних рабочих колесах жидкость подается с двух противоположных сторон. В результате расход жидкости, проходящей через двухсторонние водоприемные колеса, выше, чем у колес одностороннего типа.

Симптомы кавитации в насосах:

Практическое проявление явления кавитации можно определить по следующим признакам:

- Появление шума и высокочастотных колебаний (вибрации) при работе насоса;
- Резкие изменения характеристик давления и расхода, особенно в одноступенчатых насосах;
- Появление на рабочем колесе и корпусе насоса признаков кавитационной эрозии (эрозии) и электрохимической коррозии;
- Снижение общей работоспособности и производительности насоса;
- Видимые механические повреждения на разобранных компонентах насоса;
- Выход из строя рабочего колеса;
- Увеличение потребления электроэнергии.

Материалы и технология изготовления рабочих колес:

Рабочие колеса изготавливаются литьем или прокаткой. Каналы рабочих колес, полученные литьем, впоследствии полируются путем повторной обработки. Рабочие колеса, используемые в обычных условиях, обычно отливаются из чугуна. Однако рабочие колеса насосов, работающих под высоким давлением и гидродинамическими нагрузками, изготавливаются из высокопрочных сталей с высоким содержанием марганца, которые отвечают особым сложным требованиям [18]. В частности, в насосах, используемых в горнодобывающей промышленности, техногенные воды со щелочными или кислыми свойствами вступают в химическую реакцию с материалами насосов, вызывая коррозию и химическую эрозию. Для таких сред необходимо выбирать специальные коррозионно-стойкие материалы.

Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfseries.com

11th November, 2025

Возникновение процесса кавитации в насосе и его динамическое развитие зависят, прежде всего, от основных рабочих параметров насоса, а именно: напора H , мощности на валу N и КПД η . приводит к существенному снижению КПД насоса. По мере углубления процесса кавитации увеличиваются гидравлические дисбалансы и турбулентные колебания потока. Это нарушает устойчивость режима работы насоса и в конечном итоге приводит к **полному отказу его работы**, т.е. резкому снижению производительности, быстрому износу конструктивных элементов и потере общей энергоэффективности [2].

Результаты и обсуждение . В результате кавитационных испытаний была построена кавитационная характеристика насоса (рис. 1). Эта характеристика графически отражает изменение КПД относительно изменения давления в рабочем режиме насоса. В исследованиях за критическую точку кавитационного запаса принята точка снижения давления насоса на 2% . В этой точке отмечается существенное снижение КПД насоса, и на этом основании определяется критический кавитационный запас — $\Delta h_{кр}$. значение определяется [5].

Приведены экспериментальные графики связи и $H = f_2(\Delta h)$ характеристики кавитации при постоянных $Q = \text{const}$ и $n = \text{const}$ $Q_H = f_1(\Delta h)$ (рис. 1) (Δh - Кавитационный запас).

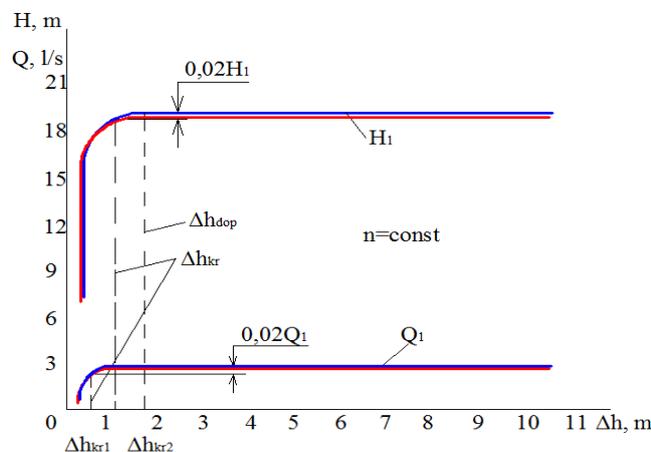


Рисунок 1. Кавитационная характеристика насоса.



Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfseries.com

11th November, 2025

На основании полученных в результате испытания значений H рассчитывается по формуле , а запас кавитации Δh определяется по следующей формуле:

$$\Delta h = H_a - h_{\text{буф}} - H_{\text{вак}} + \frac{V_B^2}{2g}; \quad (1)$$

$$H_{\text{вак}} = h_s - h_{ws} + \frac{V_B^2}{2g}; \quad (2)$$

где : H_a - атмосферное давление, м.у.м.; $h_{\text{буф}}$ - давление насыщенного водяного пара, м; h_s - геодезическая высота всасывания, м; h_{ws} -сумма гидравлических сопротивлений на всасывающем участке, м; V_B - скорость в рабочей части , м/с ; $H_{\text{вак}}$ - показание вакуумметра, установленного на приеме насоса, м.

Если **высота всасывания в насосном агрегате** h_s имеет **отрицательное значение** , то есть если насос работает выше уровня жидкости, то давление на всасывании измеряется **мановакуумметром** . Этот прибор используется для определения давлений ниже атмосферного [2].

Если эксперимент проводится **в условиях давления выше атмосферного** , то выражение вакуумметрического давления в формуле 1 (для определения кавитационного запаса) $H_{\text{вак}}$ заменяется **отрицательным манометрическим давлением** . Здесь:

$$H_{\text{вак}} = -h_{\text{м.в.}} \quad (3)$$

где: $-h_{\text{м.в.}}$ - манометрическое давление (м) во всасывающем трубопроводе, измеренное манометром, *которое* имеет положительное значение, но вводится в формулу со знаком минус.

Такой метод расчета важен для правильной оценки реальных гидравлических условий на всасе насоса, особенно при определении риска возникновения кавитации.

Научно-исследовательские работы проводились на базе насосной установки в лабораторных условиях. Испытания были направлены на определение кавитационных характеристик насоса и проводились в следующем порядке .

1. Перед началом испытания **клапан на напорном трубопроводе полностью закрывается** , клапан на всасывающем трубопроводе полностью открывается, насос заполняется жидкостью и запускается .



Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfseries.com

11th November, 2025

2. Клапан в напорном трубопроводе частично открывается и определяется состояние, соответствующее определённому значению расхода $Q_1 = const$. Параметры работы насоса определяются с помощью специальных измерительных приборов и приведены в **таблице 2**.

3. Клапан на всасывающей линии постепенно закрывается, в результате чего давление во всасывающей секции снижается. При этом клапан на нагнетательной линии перенастраивается таким образом, чтобы расход жидкости оставался равным $Q_1 = const$. *Все измерения регистрируются.*

4. Этот процесс повторяется 4–5 раз. В результате воздействия показатели Q и H постепенно уменьшаются, а режим работы насоса переходит с **горизонтального участка кавитационной характеристики на крутой** (рис. 1).

5. $H = f(\Delta h)$ Для получения ещё 3–4 экспериментальных точек в области падающей характеристики клапан на всасывающем трубопроводе дополнительно прикрывают, а клапан на напорном трубопроводе в это время приводят в положение полного открытия.

6. В начале нового периода испытаний насосный агрегат заполняется водой. Клапан на напорном трубопроводе полностью закрывается, всасывающий открывается, и насос включается (рисунок 1).

7. Клапан в напорном трубопроводе частично открыт, и $Q_1 = const$. Значение определяется. Инструкции по использованию всех измерительных приборов приведены в **таблице 1**.

8. С помощью специального **вакуумного насоса**, подключенного к герметичному объемному сосуду, *создается давление воздуха* H контролируется, и все параметры повторно измеряются и заносятся в **Таблицу 2**.

9. Операции в пункте 3 повторяются 4–5 раз. В обратном процессе значения Q и H уменьшаются, и режим работы насоса вновь переходит на **наклон кавитационной характеристики** (рис. 1).

10. Процедуры пункта 3 повторяются вновь для регистрации 3-4 дополнительных экспериментальных точек на **наклонном участке кавитационной характеристики**.

Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfseries.com

11th November, 2025

Таблица измеренных величин Таблица 1

№ т.	Показатель измерительного прибора	Знак	Единица измерения	Угол лопат	Эксперименты				
					я	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.	Дисплей мановакуумметра	МВ,В	кгс/см ²	28°	1.6	1.68	1.78	1.83	1.9
				30°	1.67	1.71	1.81	1.88	1.97
				26°	1.55	1.63	1.7	1.76	1,85
				32°	1.59	1.66	1.75	1.8	1.88
3.	дисплей манометра	М	кгс/см ²	28°	17.1	17.7	18.3	18.5	18.7
				30°	17.6	18.1	18.5	18.9	19.5
				26°	16.2	17.1	17.5	17.9	18.1
				32°	16.7	17.3	18	18.2	18.4
4.	Дисплей тахометра	н	месяц/минута	28°	2500	2600	2700	2800	2900
				30°	2500	2600	2700	2800	2900
				26°	2500	2600	2700	2800	2900
				32°	2500	2600	2700	2800	2900
Диаметры									
1	- вопросительный	д ₁	мм	28°	70	70	70	70	70
				30°	70	70	70	70	70
				26°	70	70	70	70	70
				32°	70	70	70	70	70
2	- передатчик	д ₂	мм	28°	185	185	185	185	185
				30°	185	185	185	185	185
				26°	185	185	185	185	185
				32°	185	185	185	185	185

Расчет запасов кавитации производится на основании экспериментальных данных, полученных в лабораторных условиях, в частности, с использованием значений, приведенных в таблице 2. Этот процесс осуществляется в следующей последовательности.

1. (Q , м³/с) и напор (H , м) насоса определяются на основании лабораторных экспериментов. Эти значения отражают реальные рабочие параметры насоса.
2. кавитационного запаса Δh рассчитывается по формуле 1.
3. рассчитанных значений Δh строится график зависимости кавитационной характеристики насоса от $H = f_1(\Delta h) \Delta h$ и параметров. Этот



Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfseries.com

11th November, 2025

график будет иметь вид, аналогичный графику, представленному на рисунке $Q = f_2(\Delta h) 1$.

4. На построенной кавитационной характеристике определена точка, в которой давление падает на 2%. Значение Δh в этой точке является **кавитационным запасом**. Δh называется $\Delta h_{кр}$ и принимается за критический кавитационный запас насоса.

5. Допустимый запас кавитации рассчитывается следующим образом:

$$\Delta h_{ж} = a K_6 \Delta h_{кр} \quad (4)$$

где, a - коэффициент, принимаемый из таблицы 3.8 к значению $\Delta h_{кр}$;

K_6 - коэффициент полезного действия насоса или отношение размеров рабочего колеса D_2/D_0 , принимаемое из табл. 4.

Таблица расчета запаса кавитации Таблица 2

Нет.	Наименование рассчитываемых параметров	знак	Единица измерения	Угол лопат	Эксперименты				
					я	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Перекачка воды	B	$\text{м}^3/\text{с}$	28°	0,091	0,142	0,196	0,241	0,28
				30°	0,105	0,152	0,203	0,255	0,3
				26°	0,081	0,128	0,182	0,232	0,268
				32°	0,088	0,135	0,189	0,237	0,27
2.	Дисплей мановакуумметра	ч МВт	$\text{кгс}/\text{см}^2$	28°	1.6	1.68	1.78	1.83	1.9
				30°	1.67	1.71	1.81	1.88	1.97
				26°	1.55	1.63	1.7	1.76	1,85
				32°	1.59	1.66	1.75	1.8	1.88
3.	дисплей манометра	$я$	$\text{кгс}/\text{см}^2$	28°	17.1	17.7	18.3	18.5	18.7
				30°	17.6	18.1	18.5	18.9	19.5
				26°	16.2	17.1	17.5	17.9	18.1
				32°	16.7	17.3	18	18.2	18.4
4.	Скорость всасывания	V_B	PC	28°	1.04	1.16	1.21	1.29	1.38
				30°	1,098	1.22	1.28	1.37	1.51
				26°	1	1,107	1.16	1.23	1.35
				32°	1.02	1.13	1.19	1.26	1.37
5.	Расход преобразователя	B_H	PC	28°	1.14	1.21	1,237	1.37	1.47
				30°	1,158	1.27	1.35	1.46	1.58
				26°	1.09	1.17	1,225	1.29	1.41
				32°	1.13	1.19	1.23	1.34	1.45
6.	Давление, создаваемое разницей скоростей	$\frac{V_H^2 - V_B^2}{2g}$	M	28°	0,011	0,006	0,003	0,01	0,013
				30°	0,006	0,006	0,009	0,013	0,017
				26°	0,01	0,004	0,002	0,0108	0,011
				32°	0,01	0,005	0,003	0,011	0,012



Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfseries.com

11th November, 2025

7.	Полное давление насоса	ЧАС	м	28°	18.7	19.3	20.08	20.3	20.6
				30°	21.2	21.8	22.31	22.8	23.3
				26°	16.9	18.1	18.5	18.9	19.4
				32°	17.6	18.7	19.4	19.8	20.2
8.	Кавитационный резерв	Дчас	м	28°	11.41	11.51	11.61	11.67	11.75
				30°	11.49	11.54	11.65	11.73	11.84
				26°	10.7	11.08	11.27	11.38	11.43
				32°	11	11.19	11.32	11.41	11.5
9.	Допустимый запас кавитации	$\Delta h_{жс}$	м	28°	12.38	12.48	12.6	12.66	12.75
				30°	12.47	12.53	12.6	12.73	12.85
				26°	12.3	12.38	12.47	12.56	12.61
				32°	12.33	12.41	12.54	12.62	12.7
10.	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания	$H_{вак}^{жс}$		28°	-2.57	-2.66	-2.76	-2.82	-2.89
				30°	-1.67	-1.71	-1.81	-1.88	-1.97
				26°	-2.67	-2.76	-2.78	-2.87	-2.91
				32°	-2.63	-2.74	-2.77	-2.84	-2.9

Значения коэффициента α .

3.

$\Delta ч_{кр}, м$	0	2	4	6	7	8	10	12	14	16
α	1.6	1.37	1.2	1.13	1.1	1.09	1.08	1.07	1.06	1.06

коэффициента K_b .

4.

D_2/D_0	1.0	1.25	1.5	2	2.5	3.0
K_b	1.1	1.1	1,094	1,052	1,014	1.0

Допустимая вакуумметрическая высота всасывания:

$$H_{вак}^{жс} = H_a - h_{буг} - \Delta h_{жс} + \frac{V_6^2}{2g}; \quad (5)$$

графика зависимости $\Delta h_{жс} = f_3(Q)$ водоотталкиваемости основы H от $\Delta_{характеристик}$ основы H , т.е. $H_{вак}^{жс}$, $H_{вак}^{жс} = f_3(Q)$ эксперименты по описанной выше методике следует повторить 4-5 раз (из-за дефицита времени при проведении исследования повторять эксперимент не обязательно).



Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfséries.com

11th November, 2025



2. Процесс кавитации в камере наблюдения по данным экспериментов, проведенных на лабораторной установке.

В лабораторных условиях использовались лопатки рабочего колеса насосного агрегата с углами установки 26° , 28° , 30° и 32° . В результате исследовались изменение давления, расход воды, мощность, коэффициент кавитации и кавитационные процессы в насосном агрегате.

Заклучение

В данной главе описываются структура и принципы работы специального экспериментального устройства для определения расхода воды и давления насосного агрегата. Одним из основных технических решений в устройстве является введение камеры наблюдения, позволяющей визуальнo наблюдать за кавитационными процессами, возникающими в рабочей части насоса. Это позволяет своевременно выявлять и анализировать неблагоприятные условия в процессе эксплуатации. В ходе исследований изучалась эффективность лопастей насоса при различных углах (26° , 28° , 30° и 32°). Согласно полученным результатам, рабочее колесо с углом 30° продемонстрировало наилучшие гидравлические показатели. В частности, оно показало в среднем на **5% более высокий КПД, чем конструкции с другими углами**. Экспериментально анализировались кавитационные явления, возникающие при работе насоса, и их влияние на КПД насоса. При этом с помощью специально разработанной лабораторной установки визуальнo наблюдались кавитационные процессы в рабочей части насоса. Оценка возникновения,



Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfseries.com

11th November, 2025

распространения и воздействия кавитации на насос производилась в режиме реального времени с помощью камеры наблюдения. Была выявлена чёткая зависимость между изменением угла наклона лопастей насоса и интенсивностью кавитации. В частности, рабочее колесо с углом наклона 30° продемонстрировало не только наибольшую эффективность, но и наименьшее влияние кавитации. Это отмечено как важный фактор, влияющий на длительную работоспособность и устойчивость работы насоса.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ССЫЛКИ.

1. Мамажонов М., Повышение эффективности эксплуатации центробежных и осевых насосов насосных станций оросительных систем: /Диссертация/ Андижон 2005.
2. Мамажонов М., Хакимов А., Мажидов Т., Уралов Б., Насос ва насос станцияларидан амалий машғулотлар//Андижон 2005. № 1. 72-73.
3. Шакиров Б.М., Эрматов К.М., Абдухалилов О.А., Шакиров Б.Б., Экспериментальная установка по исследованию центробежных насосов на кавитационный и гидроабразивный износ.// Международный научный журнал. 2022, № 5, с.692-697.
4. Shakirov B.M., Abduxalilov O.A., Sirochov A.M., Carrying out hydraulic calculation of the aquifer of pumping stations and work with sediments (in the example of the Ulugnor pumping station)// Eurasian Journal of Engineering and Technology. 2022, № 4, с.88-92.
5. Шакиров Б.М., Абдухалилов О.А., Тешабоев Б.Р., Экин –тикин насос станциясининг сув олиш иншоотидаги гидравлик қаршиликларини хисоблаш усулини такомиллаштириш.// Proceedings of International Conference. 2023, №6, с.210-217.
6. Shakirov B.M., Abduxalilov O.A., O‘rinov I.SH., Maxmudov D., Botirova N.M., Evaluation of the texnical and economic efficiency of centrifugal pumps at irrigation pumping stations// Универсум техничтские науки №10(127) октябрь, 2024, с. 52-54.
7. Шакиров Б.М., Сафаров И.Х., Абдухалилов О.А., Абдуғоппоров И.А., Ирригация насос станцияларидаги марказдан қочма насосларнинг



E CONF SERIES



Scientific Conference on Multidisciplinary Studies

Hosted online from Bursa, Turkey

Website: econfséries.com

11th November, 2025

эскиришини баҳолаш// “Глобал иқлим ўзгариши шароитида сув ресурсларидан самарали фойдаланиш” мавзусидаги халқаро илмий ва илмий-техник анжуман мақолалар тўплами “ТИҚХММИ” МТУ Бухоро табиий ресурсларни бошқариш институти Бухоро, 29-апрел 2025 йил.