

## ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ С ДОБАВКОЙ ИЗ ВОЛЛАСТОНИТА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Дж.Х. Сайдзода, А.А. Акрамов, А.Х. Комилзода

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В практической деятельности нередко встречаются условия, характеризующиеся ограниченностью количества связанной воды в цементном материале. Данное обстоятельство может тормозить реакции гидратации и, как следствие, уменьшать долговечность получаемого материала. Для изучения влияния мелкодисперсного волластонита из месторождения Западный Джангалик (Таджикистан) на свойства цементного камня при дефиците влаги была проведена оценка изменения механической прочности образцов, подвергнутых термическому воздействию при температурах 200 °C и 550 °C. Полученные результаты показали, что добавление волластонита в состав цементного камня способствует более стабильному сохранению прочности, благодаря комплексному воздействию минерала на формирование структуры материала и смягчению последствий разрушения, вызванного нагревом.

**Ключевые слова:** волластонит, минеральная добавка, цементный камень, прочность, долговечность.

## ВОБАСТАГИИ МУСТАҲКАМИИ САНГИ СЕМЕНТИИ ИЛОВАИ ВОЛЛАСТОНИТДОР АЗ ТАЪСИРИ ҲАРОРАТИ БАЛАНД

Ч.Х. Сайдзода, А.А. Акрамов, А.Х. Комилзода

Дар татбики амалӣ, шароитҳое, ки аксар вакт дучор мешаванд, бо миқдори маҳдуди оби пайвастшуда дар маводи сementӣ тавсиф карда мешаванд. Ин метавонад реаксияҳои гидратсияро боздорад ва аз ин рӯ, устувории маводи хосилшударо коҳиши дихад. Барои омӯзиши таъсири волласонити маҳин дисперси кони Ҷонгалики Фарбӣ (Тоҷикистон) ба хосиятҳои санги сementӣ дар ҳолати норасони намӣ баҳодиҳии тағирёбии устувории меҳаникии намунаҳо, ки дар ҳарорати 200 °C ва 550 °C ба таъсири гармӣ дучор шудаанд, баҳо дода шуд. Натиҷаҳои бадастомода нишон доданд, ки ба таркиби санги сement илова кардани волластонит ба устувортар нигоҳ доштани мустаҳками мусоидат меқунад, зеро таъсири комплексии минералӣ ба ташаккули соҳтори моддӣ ва кам кардани таъсири ҳаробшавӣ дар натиҷаи гармкунӣ овард мерасонад.

**Калидвоҷаҳо:** волластонит, иловаи минералӣ, санги сementӣ, мустаҳкамӣ, дарозмӯҳӣ.

## DEPENDENCE OF THE STRENGTH OF CEMENT STONE WITH A WOLLASTONITE ADDITIVE ON THE IMPACT OF HIGH TEMPERATURE

J.H. Saidzoda, A.A. Akramov, A.H. Komilzoda

In practical applications, conditions often encountered are characterized by a limited amount of bound water in cementitious materials. This can inhibit hydration reactions and, consequently, reduce the durability of the resulting material. To study the effect of finely dispersed wollastonite from the Western Dzhangalik deposit (Tajikistan) on the properties of cement stone under moisture deficiency, an assessment was made of the change in the mechanical strength of samples subjected to thermal effects at temperatures of 200 °C and 550 °C. The results obtained showed that the addition of wollastonite to the composition of cement stone contributes to a more stable retention of strength, due to the complex effect of the mineral on the formation of the material structure and mitigation of the effects of destruction caused by heating.

**Keywords:** wollastonite, mineral additive, cement stone, strength, durability.

### Введение

В настоящее время важным направлением разработки бетонов с улучшенными характеристиками выступает внедрение модификаторов – минеральных, органических или их сочетаний, а также применение композитных связующих [1-7]. При этом особое внимание уделяется использованию разнообразного природного сырья, включая волластонит [8-13].

Уже установлено, что добавление минеральных компонентов позволяет сократить долю клинкера и одновременно наделить материалы новыми качествами, обусловленными составом и свойствами исходного материала.

Настоящее исследование было направлено на изучение того, как нагрев влияет на механическую стойкость бетона на основе цемента с добавлением 12,5% тонкого волластонита из месторождения Западный Джангалик, расположенного в Таджикистане.

При повышенных температурах в цементном камне наблюдается дефицит подвижной фазы и запускаются разнообразные изменения, ухудшающие его механическую стойкость. Например, нагрев до 300 °C вызывает выпаривание связанной воды – она удаляется из структуры гидратов портландцемента (клинкера), включая воду, поглощенную ими, и кристаллизационную воду гидросульфоалюмината кальция. Параллельно с этим процессом высвобождения влаги в цементном камне возникают значительные объемные и геометрические искажения, создающие внутреннее напряжение, которое иногда приводит к появлению мелких и крупных трещин. Повышение температуры приводит к разрушению структуры известняка из-за разных упругих свойств кристаллов гидроксида кальция и не вступивших в реакцию компонентов. Около 510 °C начинается удаление воды из гидроксида кальция и распад связанных с водой соединений. В диапазоне

температур около 800°C фиксируется процесс расщепления молекул, а последующий нагрев вызывает активное разложение карбонатного кальция при температуре выше 1240°C.

### Методика исследований

В эксперименте использовали кубы цементного материала размерами 5x5x5 см, некоторые из которых включали 12,5% волластонита с удельной поверхностью 400 м<sup>2</sup>/кг. Эти образцы подвергали термической обработке при 200°C и 550°C, после чего измеряли предел их прочности на сжатие. Для сравнения брали контрольные группы образцов, которые не обрабатывали нагревом; их прочность принималась за базовый уровень в 100%.

Оптимальные значения удельной поверхности волластонита и его доля в смеси определялись данными предыдущих экспериментов, выявивших, что определенная степень измельчения материала и конкретная концентрация позволяют достичь наибольшего увеличения прочности цементного основания – до 24%.

### Основная часть

Согласно результатам исследования после воздействия температуры в 200°C прочность материала на основе цемента снизилась до 78,72% по сравнению с исходными значениями; добавление волластонита привело к еще большему уменьшению – до 69,75% (иллюстрация представлена на рис. 1).

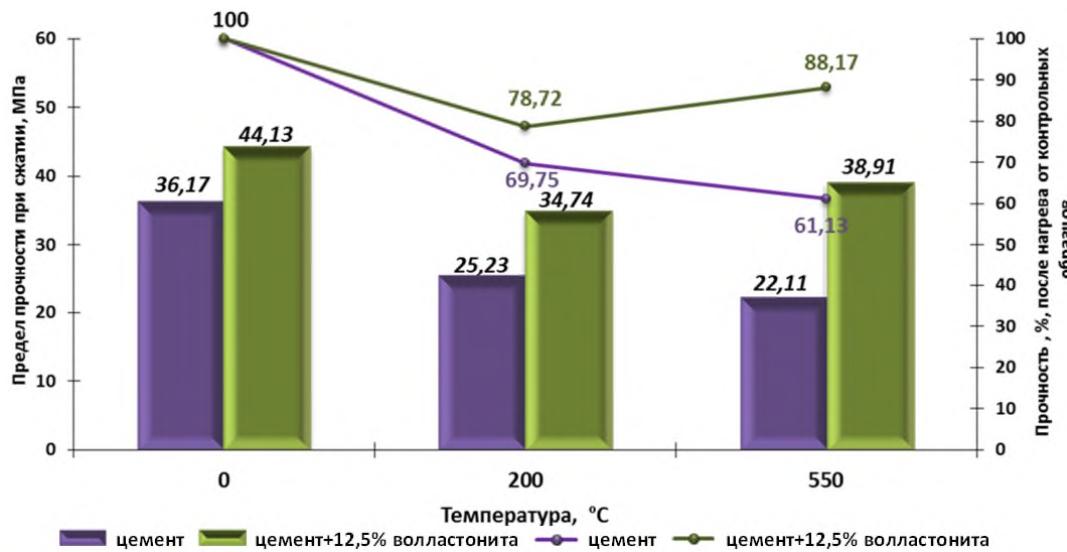


Рисунок 1 – Прочность образцов при сжатии и после нагрева

При использовании цементного камня, полностью состоящего из тонкомолотых вяжущих веществ, подвергнутых обжигу при 550 °C, отмечается увеличение прочности на 9,5% относительно показателей, полученных при другой температуре обжига. В противоположность этому прочность образцов обычного цемента уменьшается на 8,5%.

Установлено, что у вяжущих соединений, подвергнутых термообработке при 200 °C, выраженность характеристических пиков  $C_2S$ ,  $C_3S$  и  $Ca(OH)_2$  на дифрактограммах цементных пород с добавлением мелкого волластонита оказывается меньше, чем в образцах чистого цемента (см. рис. 2, а). Уменьшение выраженности пиков алитата и белита связано со свойствами глинистых минералов, присутствующих в составе волластонита. Их слоистая структура позволяет им абсорбировать влагу и удерживать её даже при нагревании до 200°C. В этот период, когда в цементном камне ощущается недостаток жидкости, это способствует активации гидратации и смягчает влияние разрушающих процессов, включая усадку. Кроме того, при нагревании до этой же температуры формируется среда, благоприятствующая реакции гидроксида кальция с активными минеральными составляющими волластонита – кристобалитом и мелкими глинистыми частицами, что приводит к ослаблению интенсивности пиков портландита.

Именно эта взаимосвязь явлений обуславливает более высокую остаточную прочность испытанных на разрушение образцов бетона, подвергнутых воздействию температуры 200 градусов Цельсия и включающих 2,5% мелкодисперсных вулканических отложений осадочного происхождения.

Характерной чертой дифрактограмм проб, подвергнутых воздействию температуры 550°C, выступает невыявленность характерных максимумов портландита с межплоскостными расстояниями 2,63; 4,93 Å и уменьшение интенсивности сигнала при  $d/n = 1,93$  (рисунок 2, б). Это указывает на декомпозицию  $Ca(OH)_2$  в условиях заданной термообработки. Интересно отметить, что оба исследованных образца демонстрируют

сопоставимую интенсивность упомянутого пика. Кроме того, на рентгеновских снимках модифицированной цементной породы (рисунок 2, б, 2) зафиксировано дальнейшее ослабление интенсивности дифракционных линий клинкерных составляющих по сравнению как с исходным цементным камнем, так и с образцом сходного состава, обработанным при 200 °C.

Несмотря на сопоставимую концентрацию гидроксидов кальция, уменьшение интенсивностей характеристических сигналов алюминатов и железосодержащих силикатов согласуется с предыдущими результатами, демонстрирующими благоприятное воздействие мелкодисперсного волластонита на формирование структуры цемента. Это выражается в ускорении гидратации и реакции образования портландита, что приводит к увеличению прочности материала после термообработки при 550 °C. Изучение микроструктуры вяжущих веществ после нагрева до 200 °C показало образование пластинчатой структуры в образцах с добавлением волластонита (ил. 3, 2а), что указывает на позитивное влияние этого компонента на структуру цементного камня при данной температуре.

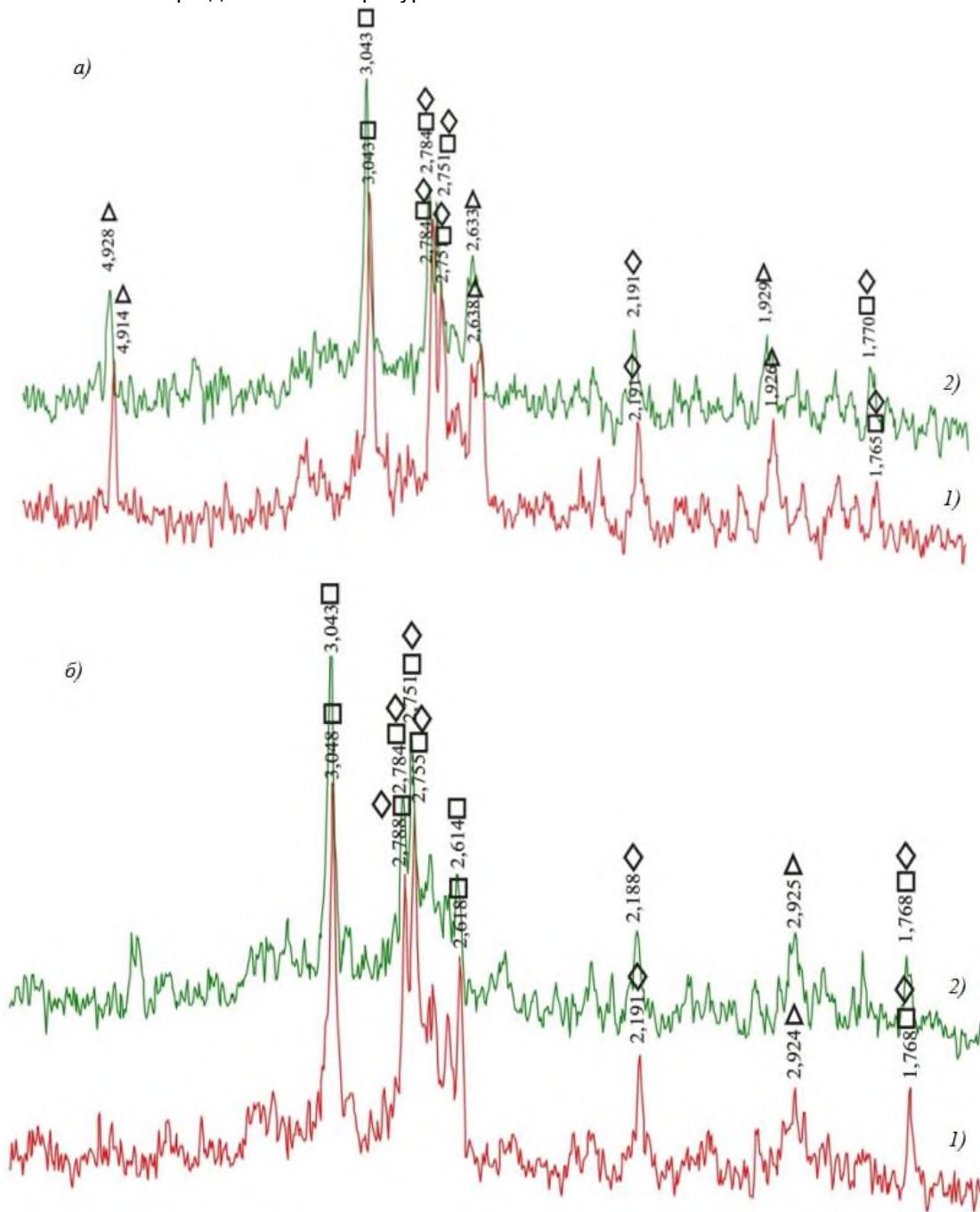


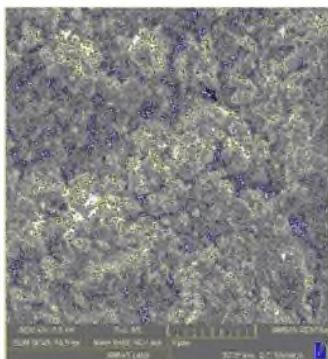
Рисунок 2 – Рентгенограммы образцов, выдержаных при температуре 200°C (а) 550°C (б): 1 – чистый цементный камень; 2 – цементный камень, содержащий 12,5 % тонкомолотого волластонита

Микроскопическое строение цементного материала характеризуется преобладанием дискретных агрегатов, визуально схожих с хлопьевидными структурами (см. рис. 3,1б). Эти образования выделяются невыраженным контактом между составляющими их частицами, что негативно сказывается на общей механической стойкости материала. Важно подчеркнуть, что независимо от температурной обработки, микроструктура цементного камня с добавлением волластонита демонстрирует повышенную плотность и сниженное количество дефектов в виде трещин и пустот (на иллюстрациях 3, 2а и 3, 2б).

## Выводы

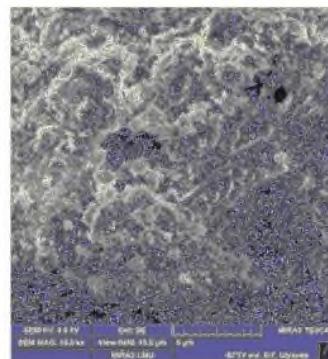
Анализ полученных данных позволяет заключить, что добавление мелкодисперсного волластонита оказывает положительное влияние на свойства вяжущего состава, уменьшая разрушительные эффекты, связанные с нагревом. Кроме того, опираясь на результаты предыдущих работ, вероятно, поведение глиносодержащих компонентов волластонита при высокой температуре будет аналогично их действию в процессе гидратации цемента при стандартных условиях.

1)



a)

2)



б)

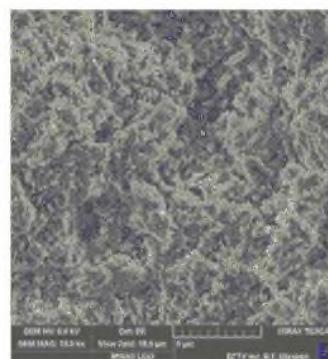
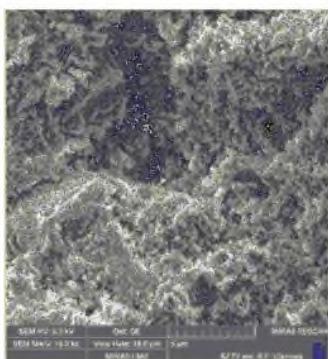


Рисунок 3 – Микроструктура образцов, выдержаных при температуре 200 °C (а) 550 °C (б): 1 – чистый цементный камень; 2 – цементный камень, содержащий 12,5 % тонкомолотого волластонита

*Рецензент: Ҳасанзода Н.М. — д.т.н., и.о.профессора қафедры «Основания, фундаменты и подземные сооружения»  
ПДПУ им. акад. М.С.Осими.*

## Литература

- Акрамов А.А. Влияние минеральных добавок на свойства цемента. / Акрамов А.А. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 155-158.
- Акрамов А.А. Влияние природных и техногенных материалов для получения сульфоферритного клинкера. / Акрамов А.А., Ашурев И.Ш., Муминов И.С., Сайдов Р.Р. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 195-199.
- Абдуганиев А.М. Зависимость процесса минералообразования в портландцементной сырьевой смеси от влияния оксида натрия. / Абдуганиев А.М., Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования 1(65). Душанбе. 2024. – С. 255-260.
- Акрамов А.А. Магнезиально-карналлитовое вяжущее. / Косимов О.Б, Акрамов А.А., Косимов К.О. углы. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 2(66), Душанбе. 2024. – С. 139-142.
- Акрамов А.А. Исследование свойств магнезиально-карналлитовых вяжущих. / Косимов О.Б, Акрамов А.А. // Научно-технический журнал «Проблемы архитектуры и строительства» Самаркандский архитектурно-строительный университет им. М. Улугбека, 2024. №3 – С. 175-177.
- Акрамов А.А. Исследование возможности синтеза клинкера белого портландцемента на основе пирофиллитсодержащего сырья и каолинитовой глины. / Акрамов А.А // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 3(67), Душанбе. 2024. – С. 102-106.

7. Акрамов А.А. Влияние условий термического воздействия на процессы минералообразования на смеси ООО «Хуаксин Гаюр цемент» / Акрамов А.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Новые направления развития науки в технических отраслях» ТТУ им. акад. М.С. Осими. (10-11 октября 2024 г.) С.11-16.

8. Акрамов А.А. Влияние тепловой обработки на структурообразование шлакощелочного лёгкого бетона на органических заполнителях / Косимов О.Б., Акрамов А.А., Баракаев К. Т. Углы. // Материалы научно-технической конференции в рамках фестиваля “Архитекторов-строителей и дизайнеров”, проводимая под лозунгом “История, настоящее и будущее Бухары” Бухарский инженерно-технологический институт (18-19 октября 2024 г.). С.559-562.

9. Akramov A.A. Changes in physical, mechanical and chemical properties of low water demanding cement strength over time / Mukhammadiyev I. A., Yusupov Kh. V., Akramov.A.A., Babayev S. // Scientific and technical magazine «Problems of architecture and construction». Special volume. Samarkand state named by Mirzo Ulug'bek university of architecture and construction. November 8, 2024. – P.582-589.

10. Акрамов А.А. Термохимическая активация сырьевой смеси на ООО «Хуаксин Гаюр Цемент» / Джуракулов М.Р., Акрамов А.А. // Вестник Таджикского национального университета. Наука и инновация Серия геологических и технических наук. Душанбе. 2024. №4. С.37-42.

11. Акрамов А.А. Влияние углещелочной добавки на дегидратацию каолинита / Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Материалы международной научно-технической конференции “В строительстве энергоэффективных и ресурсоэффективных зданий, современных строительных материалов и технологий”. Ферганский политехнический институт (19-20 декабря 2024 г.). С.382-385.

12. Акрамов А.А. Влияние алюмоシリкатных минеральных добавок в производстве смешанных цементов // Акрамов А.А., Абдуганиев А.М., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(68), Душанбе. 2024. – С. 171-177.

13. Акрамов А.А. Влияние термохимической активации сырьевых компонентов на процессы минералообразования и свойства цемента / Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 4(68), Душанбе. 2024. – С. 190-195.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ – МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН – INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Саидзода Чамшед Ҳамро	Саидзода Джамшед Хамро	Saidzoda Jamshed Hamro
д.и.т., профессор	д.т.н., профессор	Doctor of Technical Sciences, Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи ақдемик М.С. Осими	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after Acadtmic Peace M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:jamshed66@mail.ru">jamshed66@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Акрамов Авазҷон Абдуллоевиҷ	Акрамов Авазҷон Абдуллоевиҷ	Akramov Avazjon Abdulloevich
Номзади илмҳои техникӣ, дотсент	Кандидат технических наук, доцент	Candidate of technical sciences, assistant professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи ақдемик М.С. Осими	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after Acadtmic Peace M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:akramov.avaz@mail.ru">akramov.avaz@mail.ru</a>		
TJ	RU	EN
Комилзода Абдували Ҳаким	Комилзода Абдували Ҳаким	Komilzoda Abduvali Hakim
Номзади илмҳои техникӣ, и.в. дотсент	Кандидат технических наук, и.о. доцента	Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи ақдемик М.С. Осими	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: <a href="mailto:a.komilov@yahoo.com">a.komilov@yahoo.com</a>		