

УДК 725: 699.85

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ИЗГИБАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА С ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ

доцент, PhD. Хасанов Бахром Баходирович (ТАСУ)

магистрант, Уралов Тулкин Хусанович (ТАСУ)

соискатель, Бабаев Насрулло Нуриллаевич (хаким г. Бекабада)

Аннотация. В данной статье рассмотрена методика расчета армированных конструкций из бетона, основанная на специально разработанной для конструкций с композитной арматурой нелинейной деформационной модели.

Annotatsiya. Ushbu maqolada kompozit armaturali konstruksiyalar uchun maxsus ishlab chiqilgan chiziqli bo'lmagan deformatsiya modeliga asoslangan temir-beton konstruksiyalarni hisoblash usuli ko'rib chiqilgan.

Annotation: This article discusses a method for calculating reinforced concrete structures based on a non-linear deformation model specially developed for structures with composite reinforcement.

Ключевые слова: конструкции из бетона, полимерная композитная арматура, стальная арматура, прочность, растяжение, коррозионная стойкость, модуль упругости.

Во многих странах мира направления научных исследований посвящены повышению прочности устойчивости, конструкционной безопасности и надёжности зданий и сооружений с помощью производства с композитной арматурой конструкций из бетона.

Конструкции из бетона с полимерной композитной арматурой (далее композитная арматура или сокращенно ПКА) все более широко применяются в мировой строительной практике, в том числе в мостостроении [1, 2, 3, 4, 5]. Виды и свойства современной ПКА достаточно разнообразны, однако всех их объединяет ряд потенциальных преимуществ над стальной арматурой. К основным из них следует отнести более высокую прочность на растяжение, коррозионную стойкость, а также значительно меньший вес. При этом ПКА имеет пониженный модуль упругости и иные характеристики взаимодействия с бетоном. Параметры ее работы при длительном нагружении, под воздействием

изменений температуры и ряда других факторов также имеют существенные отличия.



Создание условий для рационального применения конструкций с ПКА в отечественной практике требует разработки соответствующих норм проектирования, включая достаточно проработанную и эффективную методику расчета по предельным состояниям, учитывающую, в частности, специфику объектов транспортного строительства. Эта методика должна позволять вести проектирование с учетом возможностей реализации наиболее перспективных качеств ПКА. В особенности это касается ее высоких прочностных характеристик. Данное качество ПКА является одним из важнейших и, наряду с некоторыми другими, оно в значительной степени будет определять область ее рационального применения.

В общем случае материалы бетонной и арматурной частей модели рассматриваются как физически нелинейные, в соответствии с фактическими или нормируемыми диаграммами состояния (деформирования). Модель предполагает поэтапное нагружение изгибающим моментом, при этом контролируется развитие расчетной нормальной трещины и увеличение напряжений в арматуре. Критерий разрушения деформативный – достижение предельной деформации бетона или арматуры. Таким образом, вопросы трещинообразования и прочности рассматриваются во взаимосвязи. При этом,

решается задача нелинейной статики с физической и конструкционной нелинейностью.

Бетонная континуальная часть моделируется твёрдотельными конечными элементами. Она разбивается регулярной прямоугольной сеткой переменного размера, со сгущающимися от периферии к рассматриваемому нормальному сечению с трещиной узлами. Такая сетка позволяет получать достаточную точность результатов при экономии машинного (компьютерного) времени, что важно для нелинейных пошаговых задач.

Конечные элементы, моделирующие арматуру – одномерные стержневые, работающие только на осевые силы, имеют связи с узлами бетонной части сетки с учётом задаваемых параметров сцепления вдоль направления линии контакта с бетоном.

Отработка расчетной схемы модели и технических аспектов расчета проведена на различных примерах. В частности, выполнен ряд контрольных расчетов с целью сравнения результатов с данными, которые дают аналитические зависимости для частного случая максимально возможного (идеального) сцепления арматуры с бетоном [2,3,4,5,6,7,8].

Также, выполнен ряд расчетов малонагруженных дорожно-мостовых конструкций в рамках исследований, проводимых упомянутой выше Рабочей группой по композитной арматуре. Некоторые результаты этих расчетов в обобщенном виде приведены в [2-8].

В настоящей статье представлены результаты расчетов, выполненных в исследовательских целях на примерах, которые отображают некоторые категории конструкций, применяемые на практике. Основная цель – выявить и оценить характерные особенности работы под нагрузкой конструкций с ПКА. Важным аспектом расчетов являлось сопоставление с аналогичными конструкциями со стальной арматурой, поэтому расчеты выполнены в сравнительной постановке.

В качестве объекта расчетов принят изгибаемый элемент прямоугольного поперечного сечения. Были установлены и оставались неизменными геометрические характеристики его сечения (в том числе положение арматуры), прочностные и деформативные характеристики бетона. Варьируемыми параметрами расчета являлись: процент армирования и уровень сцепления арматуры с бетоном. Расчеты выполнены для композитной арматуры с некоторыми осредненными для российских производителей физико-механическими характеристиками и для стальной арматуры А300 и А400.

Диаграмма состояния бетона принята криволинейной. В обоих квадрантах диаграммы, соответствующих работе на сжатие и растяжение, имеются

восходящие и ниспадающие участки ветви. Ветвь в зоне сжатия квазилинейна до уровня напряжений 0,4 от предельных напряжений в бетоне. Максимальные напряжения достигаются при относительных деформациях – 0,002, предельное значение относительных деформаций - 0,0035.

Примеры деформированного состояния моделей для двух вариантов процентов армирования в зоне трещины, при достижении предельного изгибающего момента представлены на рис.1. Как видно, расчетная схема с интерфейсными элементами, обеспечивает адекватное (в рамках принятых в модели допущений) развитие трещины вплоть до разрушения.

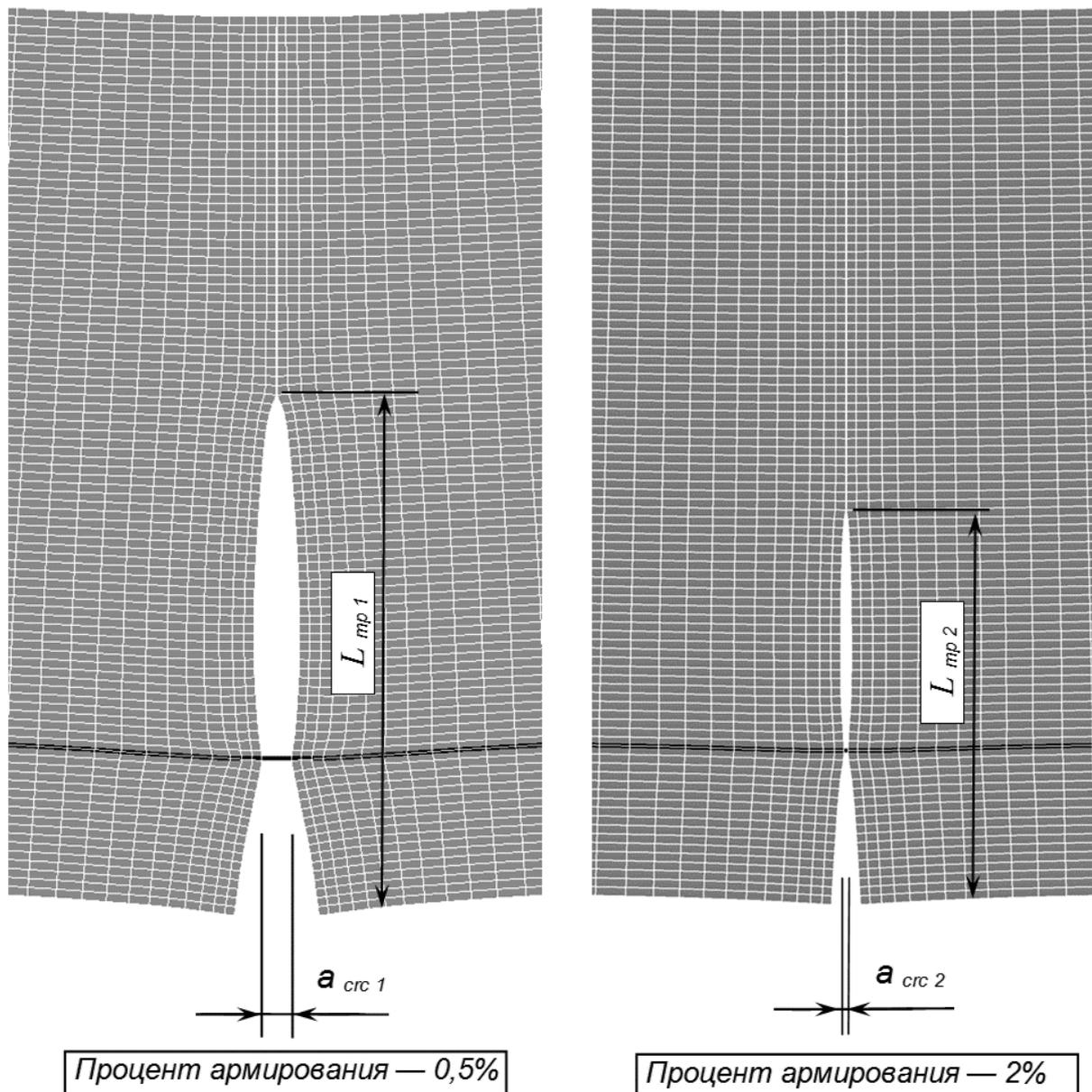


Рис. 1. Пример деформированного состояния моделей с композитной арматурой и высоким уровнем сцепления стержней с бетоном при достижении предельного изгибающего момента в зоне трещины (масштаб перемещений увеличен для наглядности).

По результатам расчётов построены зависимости предельных изгибающих моментов, воспринимаемых сечением, и соответствующих напряжений в арматуре от фактора Φ_{sc} , характеризующего деформативные характеристики сцепления арматуры с бетоном (рис. 2 и 3). Фактически этот фактор отражает величину податливости арматуры при вытягивании из бетона.

Согласно расчетам исчерпание несущей способности сечения наступает вследствие достижения предела деформаций сжатого бетона. Это происходит после проявления текучести в стальной арматуре и задолго до исчерпания композитной арматурой своего прочностного ресурса.

На рисунках 2 и 3 видно как влияет уровень сцепления арматуры с бетоном на прочность. Для композитной арматуры диапазон значений напряжений в арматуре при разрушении составляет:

- при армировании 0,5 % - 160...680 МПа;
- при армировании 2 % - 110...250 МПа.

Таким образом, в малоармированных элементах (при армировании 0,5 %) наблюдается возможность достаточно эффективной реализации композитными стержнями своих высоких прочностных показателей (рис. 2). Прочность элементов с композитной арматурой оказывается существенно выше.

Для сравнения на рис. 2 и 3 приведены также значения изгибной прочности для стальной арматуры классов А300/А400, вычисленные по формулам действующих норм [2-5]. Это обусловлено тем, что в свое время специальными исследованиями было установлено, что для основных применяемых на практике классов стальной арматуры уровень сцепления является достаточным для реализации ее прочностных свойств. Эта область в малоармированных конструкциях может представлять определенный практический интерес. Уровень нагружения элемента, при котором исчерпывается несущая способность сечения, и уровень нагружения, при котором достигается равное с железобетонными конструкциями раскрытие трещин, оказываются значительно выше.

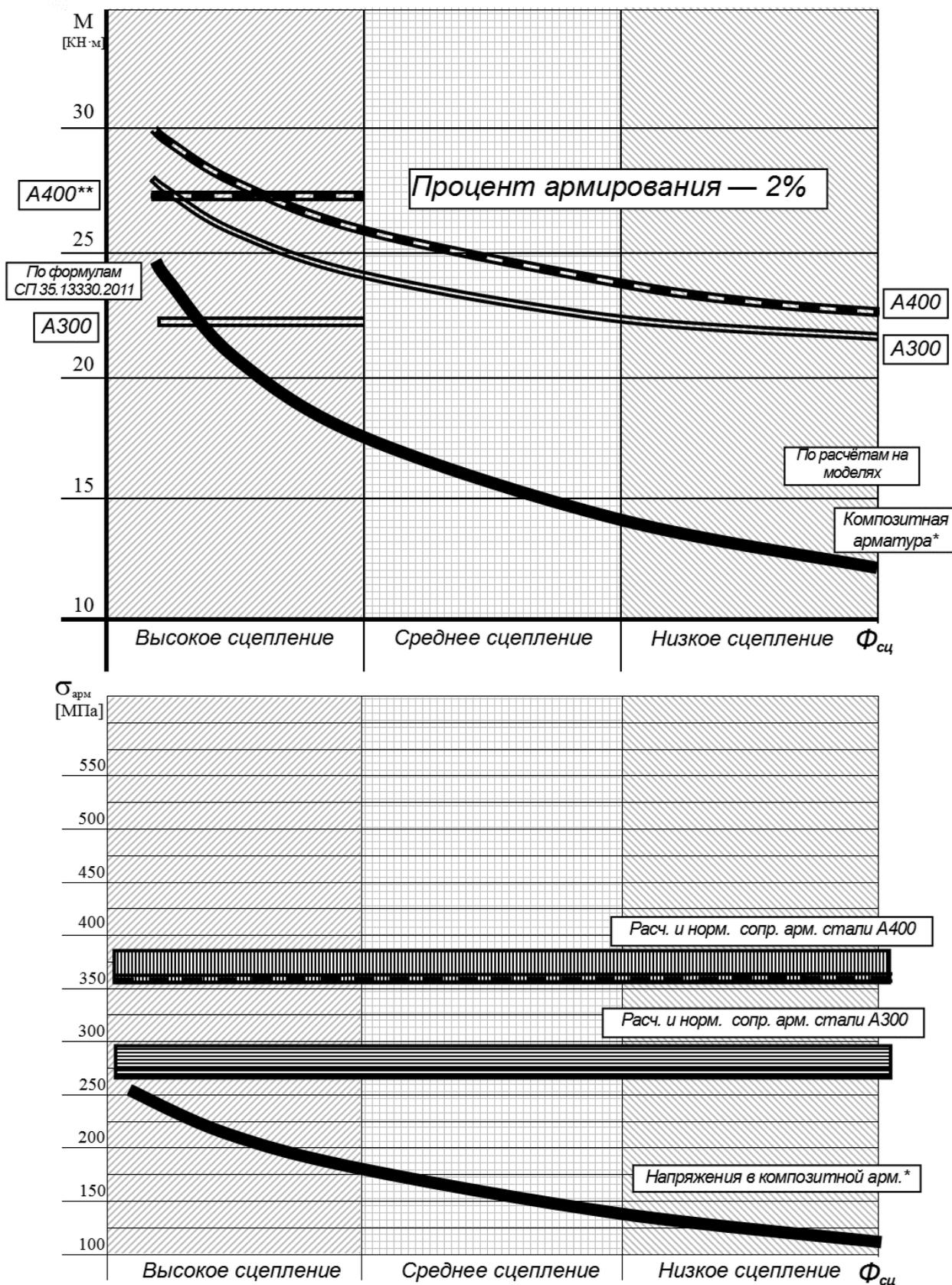


Рис. 3. Зависимость предельного изгибающего момента, воспринимаемого сечением, и соответствующих напряжений в арматуре от уровня сцепления арматуры с бетоном (процент армирования — 2%);

* параметры композитной арматуры указаны в табл. в тексте;

** в расчёте по СП относительная высота сжатой зоны близка к граничному значению.

Выводы:

1. В результате проведенных расчетно-теоретических проработок (с привлечением опыта исследований в области теории железобетона) разработана методика расчета изгибаемых конструкций из бетона с арматурой, имеющей различные физико-механические характеристики, в том числе в части сцепления с бетоном. Эти возможности методики особенно важны для композитной арматуры, свойства которой значительно отличаются от стальной арматуры, и варьируются в весьма широком диапазоне. При этом, как известно, классы композитной арматуры, как это сделано для стальной арматуры, пока не установлены.

В настоящее время разработанный расчетный инструмент может быть использован для исследовательских расчетов. Например, методика позволяет получать данные о фактической прочности и трещиностойкости изгибаемых элементов (их нормальных сечений) при любых специфических параметрах ненапрягаемой композитной арматуры. В дальнейшем, при соответствующем дополнении результатами экспериментальных исследований, методика позволит предоставлять данные, требуемые при реальном проектировании.

2. Численные эксперименты, проведенные по предлагаемой методике, позволяют сделать ряд существенных выводов о работе (прочности и трещиностойкости) изгибаемых элементов с композитной арматурой.

Высокие прочностные возможности композитной арматуры проще реализовать в малоармированных конструкциях. По критерию несущей способности изгибаемых элементов именно в этой категории конструкций композитная арматура (даже с ординарными начальными физико-механическими свойствами) представляется весьма конкурентоспособной по отношению к стальной арматуре.

Важнейшее значение имеет качество/уровень сцепления композитной арматуры с бетоном. Именно достаточное сцепление позволяет реализовывать высокие значения напряжений в композитной арматуре при разрушении. При этом первостепенное значение имеют так называемые деформативные характеристики сцепления. Действующим в настоящее время ГОСТ на композитную арматуру они не нормируются.

Раскрытие трещин в изгибаемых элементах с композитной арматурой, как правило, заметно выше, чем при аналогичном армировании стальной арматурой. При оценке значимости этого обстоятельства следует учитывать более высокую коррозионную стойкость композитной арматуры, возможности совершенствования характеристик стержней композитной арматуры и разработки специфических принципов армирования, а также другие возможности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Энергетическая стратегия Республики Узбекистан на период до 2030 года : Распоряжение Правительством утверждена «Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020-2030 годы». / Министерство энергетики Республики Узбекистан. – URL: <https://minenergy.uz/ru/lists/view/77>. – Текст : электронный.
2. ACI 440.1R-06, Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars, American Concrete Institute, 2006.
3. Fib bul.40, FRP reinforcement in RC structures. Technical report TG9.3., Lausanne, Switzerland: fib, 2007.
4. Мурашев В.И. Трещиностойкость, жесткость и прочность железобетона. Машстройиздат, 1950.
5. Хасанов Б.Б., Н.Н. Бабаев. “Повышение энергетической эффективности жилых зданий в условиях сухого жаркого климата” // “Ўзбекистон Архитектураси ва Қурилиш” Тошкент-2022 йил, 1-сон. 21-25 бет.
6. Хасанов, Б. Б. "Проектирование наружных стен зданий с учетом энергосбережения в г. Ташкенте." RESEARCH AND EDUCATION 1.6 (2022): 204-207.
7. Хасанов, Б. Б., and А. А. Каримова. "СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ НА ПРИМЕРЕ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ В Г. ТАШКЕНТЕ." Innovative Development in Educational Activities 1.4 (2022): 106-112.
8. Хасанов, Б. Б., and А. А. Каримова. "ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НАСТИЛАЮЩЕГО ВЕТРА НА ИНФИЛЬТРАЦИЮ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ОКНА ЗДАНИЙ." RESEARCH AND EDUCATION 1.7 (2022): 180-185.
9. Khakimov, Gayrat Akramovich. "The nature of the change in the connectivity of moistened loess soils during vibration." American Journal of Applied Science and Technology 2.06 (2022): 26-41.
10. Khakimov, G. A., and M. A. Muminov. "CONSTRUCTION OF BUILDINGS ON WEAK MOIST CLAY SOILS IN SEISMICALLY ACTIVE ZONES OF UZBEKISTAN." Web of Scientist: International Scientific Research Journal 3.12 (2022): 755-760.
11. Khajiev, N. M. "CHANGE IN THE CONSISTENCY CHARACTERISTICS OF THE WETTED LUSSIC BASES (GRUNTS) OF BUILDINGS UNDER THE INFLUENCE OF SEISMIC FORCES." Академические исследования в современной науке 1.13 (2022): 261-267.

12. GMFN, Dos, Samiyeva Sh Kh, and Master MA Muminov. "DEFORMATION OF MOISTENED LOESS FOUNDATIONS OF BUILDINGS UNDER STATIC AND DYNAMIC LOADS." (2022).
13. Хасанов, Б. Б. "ПРОЧНОСТЬ, ПЛОТНОСТЬ, МОРОЗОСТОЙКОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, ГАЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ." RESEARCH AND EDUCATION 1.7 (2022): 68-73.
14. Makhmudovich, Makhmudov Said. "Research Of The Work Of The System" Base-Foundation With A Damping Layer-Building" On An Inhomogene Soil Base." Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT) 12.7 (2021): 2006-2015.
15. Rakhmankulovna, A. K. H., and M. S. Makhmudovich. "Innovative designs and technologies in foundation engineering and geotechnics." International Journal of Scientific and Technology Research 9.1 (2020): 3803-3807.
16. Makhmudov, S. M., and Sh Kh Samieva. "QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF THE SYSTEM" FOUNDATION-SEISMIC ISOLATION FOUNDATION-BUILDING"." Central Asian Journal of STEM 2.2 (2021): 445-452.
17. Махмудов, С. М., and Ш. Х. Самиева. "КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СЕЙСМОИЗОЛИРУЮЩИХ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ." НАУЧНЫЕ РЕВОЛЮЦИИ КАК КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ (2021): 36-38.
18. Махмудов, С. М., and Ш. Х. Самиева. "КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ СЕЙСМОИЗОЛИРУЮЩИХ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ." НАУЧНЫЕ РЕВОЛЮЦИИ КАК КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ (2021): 36-38.