

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ОСОБЫХ НАГРУЗКАХ С
УЧЁТОМ ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7789534>



ELSEVIER



Турдикулов Хусанбой Худойназарович

Ферганский политехнический институт.

E-mail: Husanboytu7@gmail.com



Abstract: На основе разработанной методики и комплекса прикладных программ методом конечных решена задача по определению напряженного состояния высокой грунтовой плотины при сейсмичности района расположения в 8-9 баллов с учетом конструктивных особенностей и реальных неоднородных физико-механических характеристик грунта.

Keywords: Гидротехническое сооружение, грунтовая плотина, физико-механические характеристики грунта, сейсмичность района, напряжения, метод конечных элементов, безопасность.

About: FARS Publishers has been established with the aim of spreading quality scientific information to the research community throughout the universe. Open Access process eliminates the barriers associated with the older publication models, thus matching up with the rapidity of the twenty-first century.

Received: 22-03-2023

Accepted: 22-03-2023

Published: 22-03-2023

Введение. Грунтовые гидротехнические сооружения типа водоподпорных сооружений (грунтовые плотины, дамбы, водохранилища и т.п.), возводимые и эксплуатируемые в сейсмоактивных регионах Республики подвергаются нагрузкам как статического (силы гравитации, естественные внешние нагрузки и т.д.) так и динамического (сейсмического) характера. При динамическом расчете такого типа сооружений на сейсмические воздействия по «нормативной методике проектировщики ограничены возможностью получения лишь самых приблизительных оценок надежности: пути к главным резервам повышения экономичности конструкций сооружений для них закрыты, поскольку эти резервы обнаруживаются только при учете волнового характера динамических нагрузок (сейсмического) и связаны с необходимостью допущения необратимых деформаций сооружений». Для определения резервных возможностей работы грунтового сооружения при их расчетах применяются различные нелинейные модели грунта (упругопластичность, дилатансия, линейно-стандартное тело) [1-5].

В данной статье:

а) предложена методика и алгоритмы комплекса прикладных программ динамического расчета грунтовых сооружений с учетом упругого и упругопластических свойств грунта и нестационарности сейсмического воздействия;

б) на примере конкретного грунтового сооружения (Чарвакская плотина) в различные периоды ее заполнения 2009 г (август, ноябрь), 2010

г.(май, август) при содействии института Сейсмологии АН РУз были определены некоторые характеристики грунтов (скорости распространения поперечных и продольных волн) по различным поперечным сечениям, которые использованы при расчетах;

в) вычисленные картины распределения напряжений, деформаций и смещений были сравнены с данными натуральных наблюдений (банк данных из КИА), в эти же периоды заполнения водохранилища;

в) сопоставлены расчетные (напряженное состояние) с данными натуральных наблюдений (показание грунтовых динамометров, имеющиеся на плотине (рис.1).

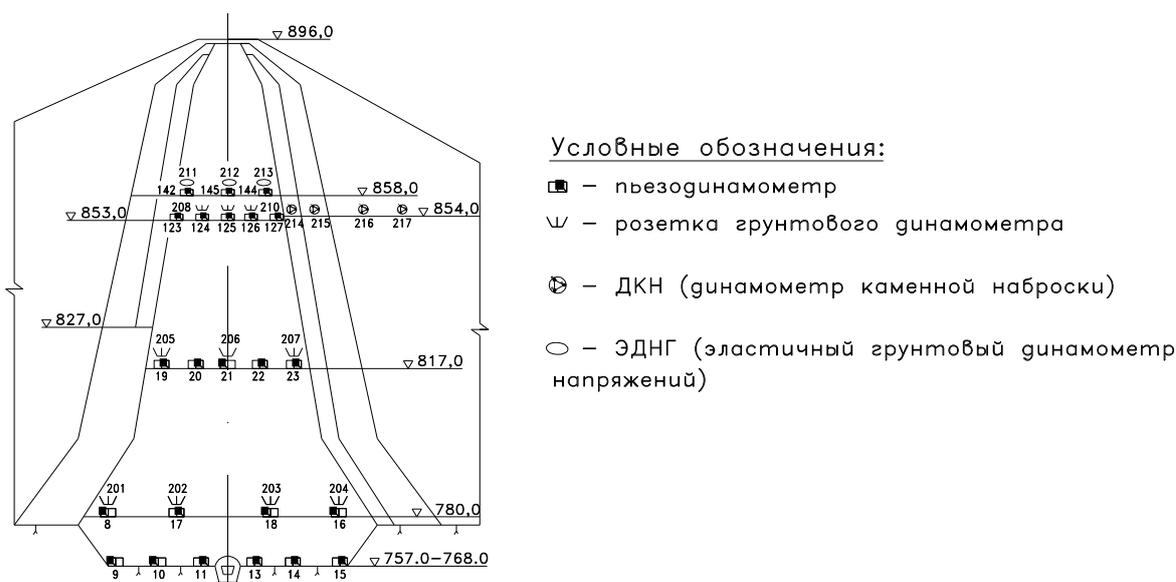


Рис. 1. Схема расположения грунтовых динамометров и пьезодинамометров в плотине. Створ 6

Постановка динамической задачи (теория). Поместим начало отсчета декартовой системы координат в нижнюю точку откоса грунтового сооружения и направим ось Ox вдоль основания по нижней поверхности. Пусть с момента времени $t > 0$ на нее со стороны основания начинает действовать динамическое воздействие. Если принять действующее воздействие по всей нижней поверхности сооружения, то отпадает необходимость исследования поведения и действия основания. Уравнения движения плоско деформированного сооружения имеют вид

$$\rho \frac{dU_x}{dt} = \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y},$$

$$\rho \frac{dU_y}{dt} = \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} - \rho g,$$

(1)

где ρ - плотность; U_x, U_y - скорости частиц; P - давление грунта и $S_{xx}, S_{yy}, \tau_{xy}$

- компоненты девиатора напряжений, g - ускорение силы тяжести. Естественно, полные напряжения при этом вычисляются по формуле

$$\sigma_{xx} = S_{xx} + P, \quad \sigma_{yy} = S_{yy} + P, \quad \sigma_{zz} = S_{zz} + P, \quad (2)$$

$$\text{где } P = P(\theta, \theta, I_s, \dots); \quad S_{ij} = S_{ij}(\varepsilon_{ij}, \varepsilon_{ij}, I_s, \dots). \quad (3)$$

Уравнения состояния грунтового сооружения (3) принимаем в конкретном виде в зависимости от применяемой модели деформирования грунта [6-12]. В данном варианте модель деформирования грунта центральная часть сооружения (суглинок) принимаем в виде упругопластической модели С.С.Григоряна:

$$\begin{aligned} \frac{dS_{xx}}{dt} + \lambda S_{xx} &= 2G \left(\frac{d\varepsilon_{xx}}{dt} - \frac{dV}{3Vdt} \right), \\ \frac{dS_{yy}}{dt} + \lambda S_{yy} &= 2G \left(\frac{d\varepsilon_{yy}}{dt} - \frac{dV}{3Vdt} \right), \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{dS_{zz}}{dt} + \lambda S_{zz} = 2G \left(\frac{d\varepsilon_{zz}}{dt} - \frac{dV}{3Vdt} \right), \quad \frac{d\tau_{xy}}{dt} + \lambda \tau_{xy} = 2G \frac{d\varepsilon_{xy}}{dt}$$

с заданием более общей зависимости предела прочности от давления в обобщенном условии Мизеса

$$2J_2 = S_{xx}^2 + S_{yy}^2 + S_{zz}^2 + 2\tau_{xy}^2 \leq 2Y(P)/3 \quad (4)$$

$$Y(P) = Y_0 + \frac{\mu P}{1 + \mu P / (Y_{PL} - Y_0)}, \quad (5)$$

где K , G - соответственно модули объемного сжатия и сдвига; $V = \rho_0 / \rho$ - относительный объем; Y_0 - сцепление; μ - коэффициент трения; Y_{PL} - предельное значение сдвиговой прочности упругой наброски (камень); λ - функционал, который определяется по следующей формуле

$$\begin{aligned} \lambda &= 0 \quad \text{при} \quad J_2 < Y(P)^2 / 3, \\ \lambda &= \frac{2GW - dJ_2/dt}{2J_2} \quad \text{при} \quad J_2 = Y(P)^2 / 3 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{где} \quad W = \sum_{j=1,x,y,z} S_{jj} \left(\frac{d\varepsilon_{jj}}{dt} - \frac{dV}{3Vdt} \right) + \tau_{xy} \frac{d\varepsilon_{xy}}{dt}.$$

К системе уравнений (1)-(7) необходимо добавить соотношения, связывающие компоненты скоростей деформации с массовыми скоростями соотношения Коши

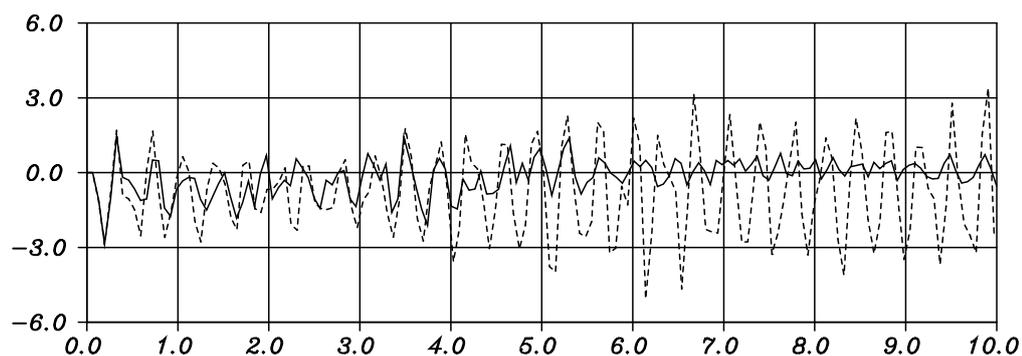
$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial V_x}{\partial x}, \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial V_y}{\partial y}, \quad \varepsilon_{xy} = \left(\frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial V_y}{\partial x} \right) / 2 \quad (7)$$

и уравнения неразрывности грунта

$$\frac{dV}{dt} - V \cdot \left(\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) = 0 \quad (8)$$

Система дифференциальных уравнений (1) –(8) замкнута и вместе с начальными и граничными условиями описывает напряженно-деформированное состояние рассматриваемого сооружения при динамических нагрузках. Начальные условия принимаем нулевыми. Граничные условия - откосы считаются свободными от напряжений или прикладывается гидростатическое давление, а по нижней поверхности (основание) сооружения прикладывается сейсмическая нагрузка типа реальной велосигаммы землетрясения, записанной в грунтовом основании сооружения [13-20]. Решение вышеприведенной системы уравнений (1)-(8) осуществляется с помощью численного метода конечных разностей по схеме, предложенной М.Уилкинсом.

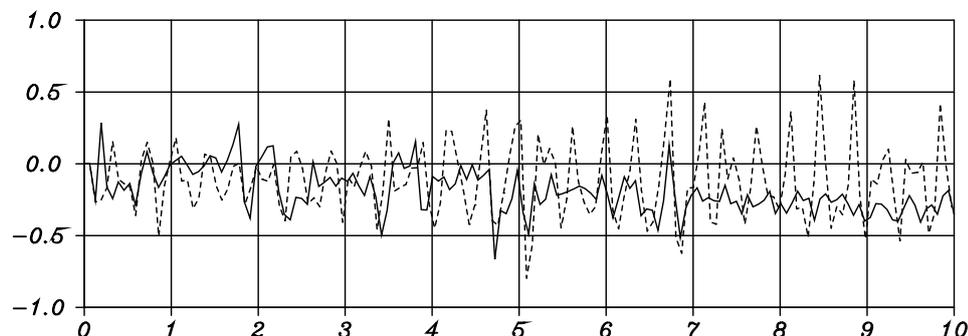
σ_{xx} (МПа)



а)

t, с

σ_{yy} (МПа)



б)

а)- горизонтальных σ_{xx} (МПа); б) - вертикальных σ_{yy} (МПа)

Рис. 2 – Изменение напряжений в верхней откосной зоны сооружения по времени t (с)

Численный расчет. В качестве примера расчета рассмотрена грунтовая плотина Чарвакской ГЭС с кусочно-неоднородными физико-механическими характеристиками, боковые упорные призмы (горная масса), переходные зоны (песчано-гравийный грунт) и ядро состоит из суглинки, обладающий упруго-пластическими свойствами. Геометрические и физико-механические параметры плотины были предоставлены ОАО Гидропроектом. Высота руслового сечения 168 м; ширина гребня 12 м; откосы 1:2;1:1.885; начальная плотность каменной наброски - 1900 кг/м³; начальная плотность материала суглинки - 1750 кг/м³; прочностные показатели упругих каменных набросок соответственно равны $E=6,21$ ГПа, $\nu=0,3$, соответствующие параметры для суглинки - $E=3,105$ ГПа, $E_0=0,6$ МПа, $E_{PL}=12$ МПа.

Здесь приводятся варианты, когда а) грунт сооружения однородно-упругий (на графиках пунктирная линия) и б) грунт сооружения кусочно-неоднородный т.е. упорные части упругие, центральная часть ядро – упругопластическое (на графиках – сплошная линия)

Результатом решения динамической задачи - графики зависимостей напряжений, смещений, деформаций от времени воздействия в характерных точках пригребневой зоны, в откосной зоне, в центральной части ядра, у подошвы центра ядра.

Для частиц в ядре и у подошвы центра ядра учет упругопластических свойств грунта, приводит к уменьшению значений (до нуля) горизонтальных смещений, а вертикальных выявлению остаточных смещений.

Максимальные значения напряжений, в основном, занимают верхнюю пригребневую (вблизи свободной поверхности) (рис.2). По сравнению с упругим вариантом, в верховом откосе образуется зона сжимающих, а в нижнем откосе растягивающих касательных напряжений. В верховой и откосной зонах также наблюдается участки нулевых напряжений [21-24].

На рис.3 показаны распределение скоростей поперечных волн в теле Чарвакской плотины, использованных при расчете и полученные при содействии института Сейсмологии в августе 2010 г.

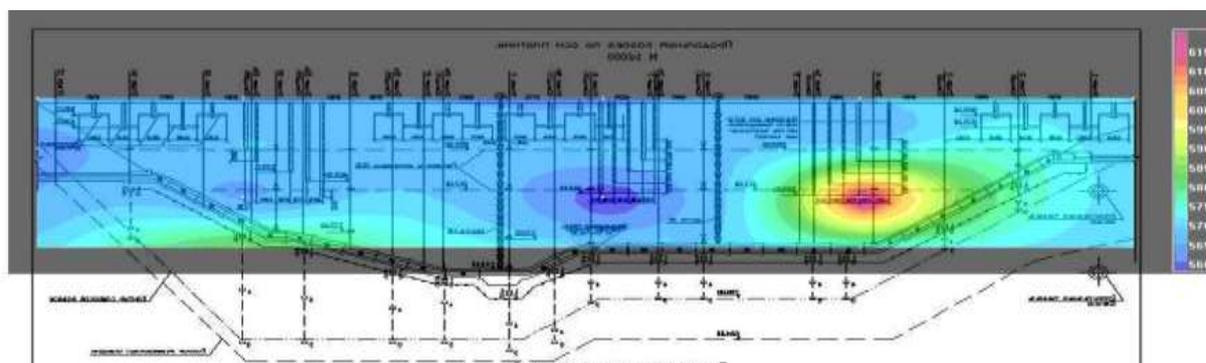


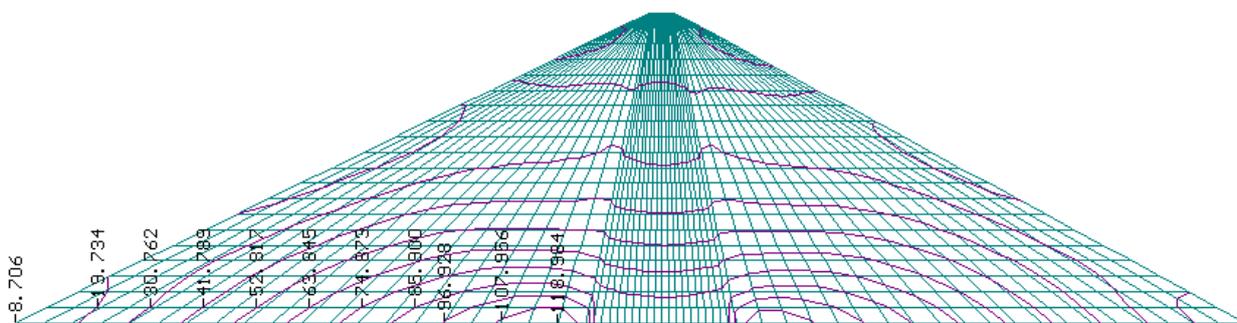
Рис.3 –Распределение скорости распространения поперечных волн в теле плотины.

Как видно из рисунка скорости распространения поперечных волн уменьшаются с увеличением высоты плотины, что согласуется с данными других авторов.

Результаты расчетов задач статики напряженно-деформированное состояние плотины под действием сил гравитации и гидростатического давления были сравнены с данными натурных наблюдений, имеющих на плотине.

На рис.4. показано сопоставление расчетных данных, горизонтальных напряжений с данными натурных наблюдений (данные приборов).

а) под собственным весом



б) под действием сил гравитации и гидростатики

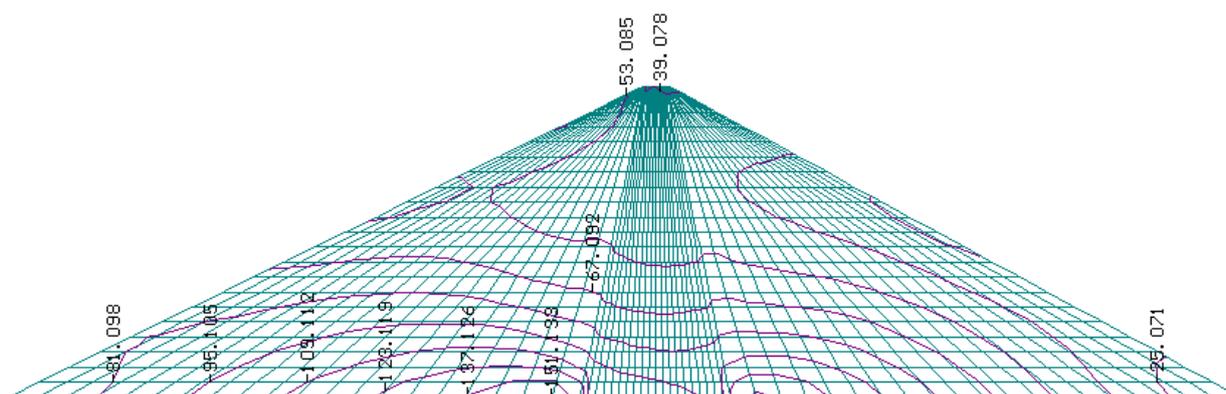


Рис.4 Сопоставление расчетных линий равных горизонтальных напряжений σ_{xx} (МПа) (упругий вариант) под действием сил гравитации при минимальном уровне воды в водохранилище (Чарвакская плотина) с данными приборов, по ядру.

Как видно из сопоставления результатов расчета с данными натурных наблюдений, процент сходимости 10-15.

На рис. 5 показана зависимость горизонтальных напряжений по ядру от показания приборов (рис.4) в плотине при отметке водохранилища 890 м на 5 августа 2010г.

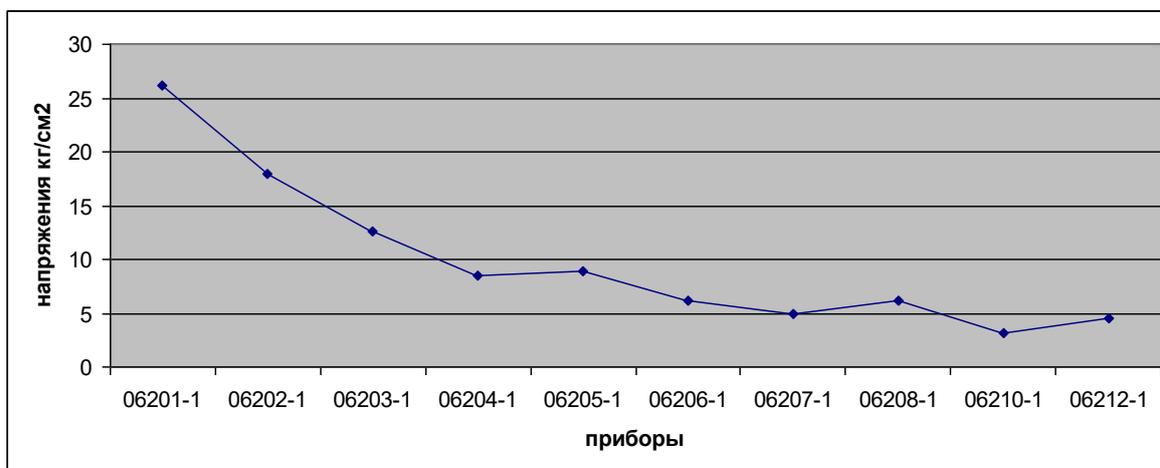


Рис.5. Зависимость горизонтальных напряжений по ядру плотины от показания приборов (грунтовые динамометры) при отметке водохранилища 890м.

Как видно из рисунка горизонтальное напряжение увеличивается по сравнению с предыдущим вариантом (наименьший уровень воды); наибольшее значение напряжения приходится на переходные зоны, а далее их значения уменьшаются так как у ядра (суглинок) наименьший коэффициент фильтрации т.е. поведение напряжений в ядре аналогично с кривой депрессии [25-30].

Выводы. Численный анализ полученных результатов показывает, что учет упругопластических свойств грунта, а также нестационарного характера сейсмического воздействия при динамических расчетах грунтовых сооружений позволяет:

- спрогнозировать НДС;
- определить зоны, где сжимающие напряжения невелики (у бермы, у поверхности откосов), что может привести к возникновению трещин разрыва;
- зоны, где возникают неравномерные смещения в смежных сечениях (переходная зона, ядро) сооружения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. KD Salyamova, XX Turdiqulov. [Analysis of stability of ground dams under seismic loads](#) // Scientific-technical journal – (2020) 24 (1), 59-63

2. KD Salyamova, XX Turdiqulov. [Analysis of stability of ground dams under seismic loads](#) // Scientific-technical journal - (2020) 3 (1), 37-41
3. Khakimova K., Yokubov S. CREATION OF AGRICULTURAL ELECTRONIC MAPS USING GEOINNOVATION METHODS AND TECHNOLOGIES //Science and innovation. - 2023. - T. 2. - №. D1. - C. 64-71.
4. Mamatqulov O., Qobilov S., Yokubov S. CULTIVATION OF MEDICINAL SAFFRON PLANT IN THE SOIL COVER OF FERGANA REGION //Science and Innovation. - 2022. - T. 1. - №. 7. - C. 240-244.
5. Abdukadirova M. A., Mirzakarimova G. M. The importance of installation of base gps stations in permanent activity in Fergana region //Asian Journal of Multidimensional Research. - 2021. - T. 10. - №. 9. - C. 483-488.
6. Arabboyevna A. M. Biological Activity of Typical Irrigated Gray Soils //Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science. - 2022. - T. 3. - №. 6. - C. 285-289.
7. Mirzakarimova G. M. MEASURES TO SUPPORT IMPLEMENTATION OF NEW IRRIGATION TECHNOLOGIES //British Journal of Global Ecology and Sustainable Development. - 2022. - T. 9. - C. 75-79.
8. Мирзакаримова Г. М. К., Муродилов Х. Т. Ү. Понятие о бонитировки балла почв и её главное предназначение //Central Asian Research Journal for Interdisciplinary Studies (CARJIS). - 2022. - T. 2. - №. 1. - C. 223-229.
9. Axmedov B. M. et al. Knauf Insulation is Effective Isolation //Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science. - 2022. - T. 3. - №. 6. - C. 298-302.
10. Marupov A. A., Ahmedov B. M. General Characteristics of Zones with Special Conditions of use of the Territory //Middle European Scientific Bulletin. - 2021. - T. 18. - C. 446-451.
11. Khakimova K. R., Holmatova D. B., Abdusalomov A. A. Basics of atlas mapping optimization in the ferghana region //ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. - 2020. - T. 10. - №. 5. - C. 613-617.
12. Khudoynazarovich T. H. et al. Complex of Anti-Erosion Measures to Increase the Efficiency of Irrigated Lands //Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science. - 2022. - T. 3. - №. 10. - C. 194-199.
13. Salyamova K. et al. Numerical analysis for stress-strain state of an earthfill dam under seismic impact //AIP Conference Proceedings. - AIP Publishing LLC, 2023. - T. 2612. - №. 1. - C. 020012.
14. Ибайевич М. Қ. Свайные Фундаменты Сельскохозяйственных Зданий На Засоленных Грунтах //Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science. - 2022. - T. 3. - №. 10. - C. 290-295.

15. Abduvaxobovich A. A. Methods of Improving Physical and Mechanical Properties of Light Concrete on the Basis of Chemical Additives //Texas Journal of Multidisciplinary Studies. – 2022. – T. 8. – C. 165-167.
16. Abbosxonovich M. A., Abduvaxobovich A. A. Measures for the Protection of the Historical and Cultural Heritage of Fergana and the Mode of Monitoring of Cultures with the Help of Geoinformation Systems //Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science. – 2022. – T. 3. – №. 6. – C. 342-348.
17. Yusufovich G. Y. et al. Formation of a Personal Database of Data in the Creation of Soil Science Cards in GIS Programs //Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science. – 2022. – T. 3. – №. 6. – C. 303-311.
18. Baxodirjon G. Y. Y. B. et al. TUPROQSHUNOSLIKDA GISNING ROLI VA TUSHUNCHASI //IJODKOR O'QITUVCHI. – 2022. – T. 2. – №. 20. – C. 67-72.
19. Valievich M. H. Measurement Of Sediments Of Industrial And Civil Buildings And Structures By High-Precision And Accurate Levelling Of Short Rays //The American Journal of Engineering and Technology. – 2021. – T. 3. – №. 05. – C. 65-71.
20. Мадумаров Б. Б., Маһопов Х. В. НАЧАЛО РАБОТЫ С ARCGIS. ARCMAP //Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science. – 2022. – T. 3. – №. 6. – C. 325-333.
21. Maksudovich M. I., Bakhromalievich E. D., Valiyevich M. K. Order And Methodology For Determining Administrative-Territorial Borders Based On Digital Technologies //The American Journal of Engineering and Technology. – 2021. – T. 3. – №. 03. – C. 49-57.
22. Khakimova K. R. et al. THEORETICAL AND METHODOLOGICAL QUESTIONS OF MAPPING THE ENVIRONMENTAL ATLAS //Galaxy International Interdisciplinary Research Journal. – 2022. – T. 10. – №. 4. – C. 240-245.
23. Khakimova K. R. et al. DEVELOPMENT OF CADASTRAL MAPS AND PLANS IN THE GEOINFORMATION SYSTEM //Galaxy International Interdisciplinary Research Journal. – 2022. – T. 10. – №. 4. – C. 212-216.
24. ABBOSXONOVICH M. A. MONITORING OF SOILS OF LINEAR PROTECTED ZONES, THEIR ASSESSMENT AND EFFECTIVE USE //Global Book Publishing Services. – 2022. – C. 01-145.
25. Abbosxonovich M. A. et al. Designing and Drawing up Employment Maps the Example of the City of Kokand //Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science. – 2022. – T. 3. – №. 11. – C. 79-83.
26. Kasimov L. M., Ganiev Y. The Essence of Using Electronic Tachometers and GPS (Global Navigation System) in Monitoring Areas //Eurasian Research Bulletin. – 2022. – T. 15. – C. 48-51.

27. Mamatkulov O. O., Numanov J. O. Recycling of the Curve Planning in Gat Technology (Auto Cad) Program //Middle European Scientific Bulletin. - 2021. - T. 18. - C. 418-423.
28. Nomonov J. O. O. FARGONA VILOYATIDAGI MADANIYAT VA ISTIROHAT BOGLARI //Science and Education. - 2020. - T. 1. - №. 8. - C. 27-30.
29. Hamidov A. A., Khalilov K. B. Biogeographic Studies Conducted In The Fergana Valley //The American Journal of Social Science and Education Innovations. - 2021. - T. 3. - №. 06. - C. 210-214.
30. Hamidov A. A., Komilova N. U. Natural Geographical Research In The Fergana Valley //The American Journal of Interdisciplinary Innovations and Research. - 2021. - T. 3. - №. 06. - C. 109-116.