

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СУШИЛЬНОГО БАРАБАНА НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССА

Ражабова Наргизахон Рахмоналиевна

соискатель ученой степени доктора философии, Ферганский политехнический институт, Республика Узбекистан, г. Фергана

Email: [n.rajabova@ferpi.uz](mailto:n.rajabova@ferpi.uz)

### Аннотация

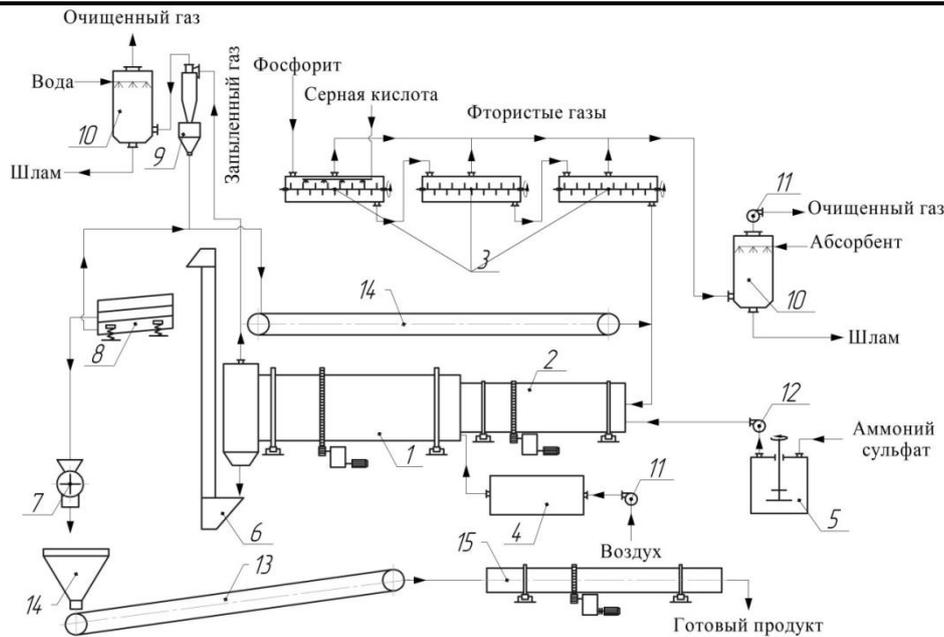
В статье анализируется процесс производства суперфосфатных минеральных удобрений, проблемы и конструкция применяемого оборудования. На основе анализа предложена усовершенствованная конструктивная схема двухэлементной насадки барабанной сушилки. Предлагаемое сопло было систематически проанализировано с аналогичными конструкциями, и было изучено влияние на процесс теплообмена в барабанной сушилке. Программа MATLAB использовалась для многоступенчатого анализа и расчета параметров в рабочей зоне барабанной сушилки.

**Ключевые слова:** насадка, системный анализ, барабанная сушилка, суперфосфат, поверхность теплообмена.

### Введение

В настоящее время растет потребность качественной сушки продуктов в химической, пищевой, сельскохозяйственной и других отраслях промышленности. Одна из основных причин этого заключается в том, что качество продукта зависит от исходной влажности продукта. Поэтому важно изучить возможность энергоэффективного сочетания конвективной, инфракрасной и микроволновой энергии в процессе сушки, выбрать оптимальные варианты реализации и конструкции, и на этой основе обеспечить экспортное качество продукции. В частности, сушка является одним из основных процессов при производстве минеральных удобрений, и от этого процесса зависит зернистость, качество и экспортные свойства удобрений [1-7]. Поэтому, важно проводить исследования в данной области.

На основании изложенного были проанализированы существующие проблемы процесса производства суперфосфатных минеральных удобрений цеха АС-72М АО "Farg'onaazot", одного из крупнейших химических предприятий Республики Узбекистан. На рисунке 1 представлена технологическая схема производства суперфосфатных минеральных удобрений [5-9].



1-барбанный сушильный аппарат; 2- барбанный гранулятор; 3-горизонтальный смесительный реактор; 4-калорифер; 5- вертикальный смесительный реактор; 6-ковшовый элеватор; 7-молотковая дробилка; 8-сито; 9-циклон НИОГАЗ; 10-полюй скруббер; 11-вентилятор; 12-центробежный насос; 13-ленточный конвейер; 14-бункер питатель;  
15-барбанный охладитель.

Рис.1. Технологическая схема производства суперфосфата.

#### Аналитические методы исследования:

Известно, что процесс производства суперфосфатных удобрений на АО "Farg'onaazot" включает: смешение мелочи фосфорита с серной кислотой в реакционной среде, гранулирование смеси с распылением сульфата аммония, сушка гранулированных удобрений, разделение на гранулометрические составляющие согласно регламента и упаковка готовых продуктов [6-11]. Разработанная технологическая схема считается энергетически эффективным, по сравнению с существующими классически линиями такого типа. К сожалению качество и экспорт производимых продуктов не отвечает к нынешним требованиям. С целью определения исследуемой проблемы проведен системный анализ в двух стадиях [12-19].

#### Результаты аналитического исследования:

На первой стадии было определено гранулометрический состав произведенного минерального удобрения и измерены температура и влажность материала. При проведении экспериментов использовались рекомендованные стандартные методики. По данной методике, удобрение сортировано в 5- ступенчатой лабораторной установке СМЦ-25 в течение 10 минут. Размер ячейки сита были 1; 3; 5 и 10 мм. На основании полученных результатов удобрение было разделено на фракции в процентном отношении [20-27].

Анализ зернистого состава удобрения предствален на таблице 1. В рисунке 2 приведено общие виды удобрения по отдельным фракциям.

Таблица 1

Размеры фракций	< 1мм	1 ÷ 3мм	3 ÷ 5мм	5 ÷ 10мм	>10мм
Фракции в процентном отношении	41,9 %	21,7 %	15,6%	10,8%	10%



Менее 1 мм от 1 мм до 3 мм от 3 мм до 5 мм



от 5 мм до 10 мм выше 10 мм

Рис.2. Общий вид удобрения разделенного на фракции.

Температура удобрения поступающее в барабан составляло 100°C и её влажность 26,4%. При выходе из сушильного барабана температура составило 70°C при влажности 14,39 %. Полученные результаты показывают, что линия производства удобрения не соответствует заданным регламентом требованиям (гранулометрический состав удобрения по технологическому регламенту 3 ÷ 5 мм, влажность не превышает 10 % и температура готового продукта в интервале 35 ÷ 40°C). Кроме того, при размерах удобрений менее 3 мм требуется их повторное гранулирование с целью укрупнения гранул и для удобрений более 5 мм их измельчение. Это, в свою очередь, увеличивает количество энергии, потребляемой в процессе [28-34].

Возникновение этого состояния связано с процессами теплообмена в сушилке, что обусловлено переходом гранулированного удобрения в сушилку и отсутствием там достаточного контакта с тепловым агентом.

Корпус барабанного сушилки в процессе изготовления оснащен стандартной Г образной насадкой [6-8], конструкция этого типа плохо адаптирована распределению и при выборе ее не учитывались физические свойства производимого удобрения. На рисунке 2 представлена схема оснащения Г образной насадки, что наглядно показывает схему распределения высушиваемого материала по поперечному сечению барабана, где существует зона «А», не закрытая завесой падающего материала.

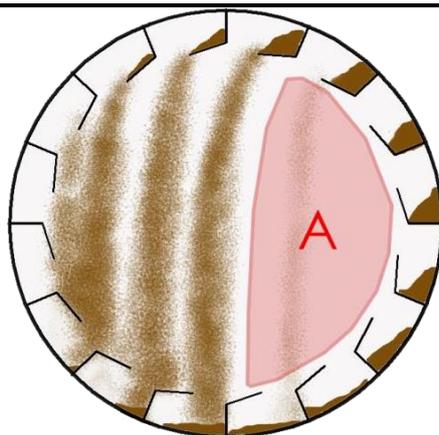


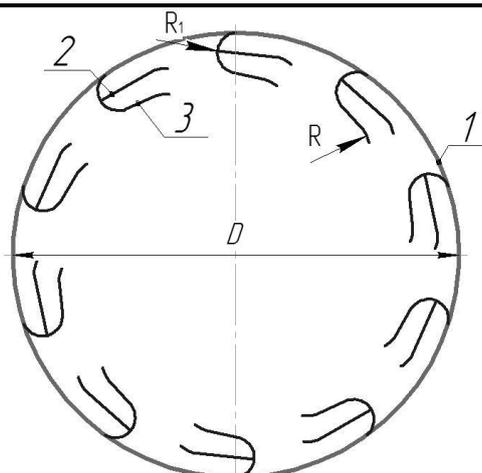
Рисунок 3. Схема открытых и закрытых зон поперечного сечения сушилки оснащенного Г образными насадками.

Как видно из рисунка 3, теплоноситель проходит через зону с наименьшим сопротивлением, то есть через зону «А». Это приводит к следующим негативным последствиям:

- увеличение зоны «А» в сушилке снижает полное и эффективное использование теплоносителя. Это приводит к снижению интенсивности теплообмена между теплоносителем и высушиваемым материалом, снижению скорости процесса сушки;
- скорость потока теплоносителя увеличивается из за наличия зоны «А» в поперечном сечении сушилки. В свою очередь, за счет увеличения скорости потока происходит унос мелких частиц потоком теплоносителя;
- увеличение зоны «А» в сушилке вызывает повышение температуры отходящих газов из барабана и снижение энергетической эффективности процесса сушки.

Опыт работы барабанных аппаратов показывает, что изменение угла наклона по линии барабанной оси стандартных насадок на сушильном барабане не обеспечивает существенного увеличения площади покрываемой высыпающим материалом. Если насадка установлена по линии барабана, площадь полосы будет максимальной, но она не будет достаточной. Справа и слева от поверхности барабана образуются открытые зоны "А". Наряду с другими техническими мероприятиями, предназначенными для расширения площади покрываемой высыпающим материалом, используются шахматный порядок насадок и гребневая кромка насадки. Однако сечение барабана остается открытым на 30 - 40% поверхности. Оптимальным решением уменьшения открытой зоны "А" в сушилке является выбор подходящей для процесса насадки и совершенствование ее конструкции. В настоящее время в этом направлении ведется большая научно-исследовательская работа, в качестве перспективного варианта представлены двухчастные насадочные конструкции [32-38].

На основании этого была разработана, улучшенная схема конструкции насадки. На рис. 4 представлена схема установки насадки на барабан.



1-барабанный корпус; Первая часть 2-го сопла; Вторая часть 3-го сопла

Рис. 4. Схема установки предлагаемой насадки на барабан.

Преимущество форсунки перед существующими конструкциями состоит, прежде всего, в том, что ее выливающаяся часть материала образует определенный уклон, что обеспечивает резкое сокращение открытых зон «А» в сушилке. Во-вторых, детали установлены на полукруглой конструкции, что предотвращает застревание материала в насадке.

Для испытания предложенной насадки в реальных производственных условиях, оценки ее воздействия на открытую зону «А» была разработана конструкция насадки и установлен цех АС-72М АО «Farg'onaazot» на барабанную сушилку при производстве суперфосфатных минеральных удобрений. На рис.5 показана установка насадки на барабан.



Рис. 5. Установка предлагаемой насадки на барабан.

Для оценки влияния насадки на открытые зоны "А" в сушилке были получены и проанализированы фотографии. По результатам анализа разбросанной материал, по сечению поверхности барабана, составила  $5,9\text{ м}^2$ , а открытая зона «А» -  $0,5\text{ м}^2$ . Результаты сравнивали с существующими конструкциями. Для полного сравнения параметров и снижения ошибки результатов был использован многофакторный системный анализ [39,40]. Систематический анализ проводился в следующей последовательности.

На первой начальной иерархическом уровне анализированы барабанные сушилки и насадки различных конструкций, применяемые при сушке минерального суперфосфата. Определены входные и выходные параметры системы.

Во второй иерархическом уровне были замечены элементы для передачи горячего воздуха и сырья, тепловая и зона обмена веществ и элементы для выпуска использованного горячего воздуха и сырья. Будут определены параметры ввода и вывода каждой вспомогательной системы.

На третьей иерархическом уровне наблюдалось взаимодействие фаз, общий рабочий объем сушилки и объем сушилки, заполненный насадкой. Будут определены параметры ввода и вывода.

На четвертой иерархическом уровне наблюдались потоки фаз, общие контактные поверхности фаз, наличие неработающих зон и время нахождения в аппарате. Будут определены параметры ввода и вывода.

При расчете многоступенчатого анализа и параметров в рабочей зоне барабанного сушилки использована программа MATLAB. На рисунке 6 приведены результаты анализа.

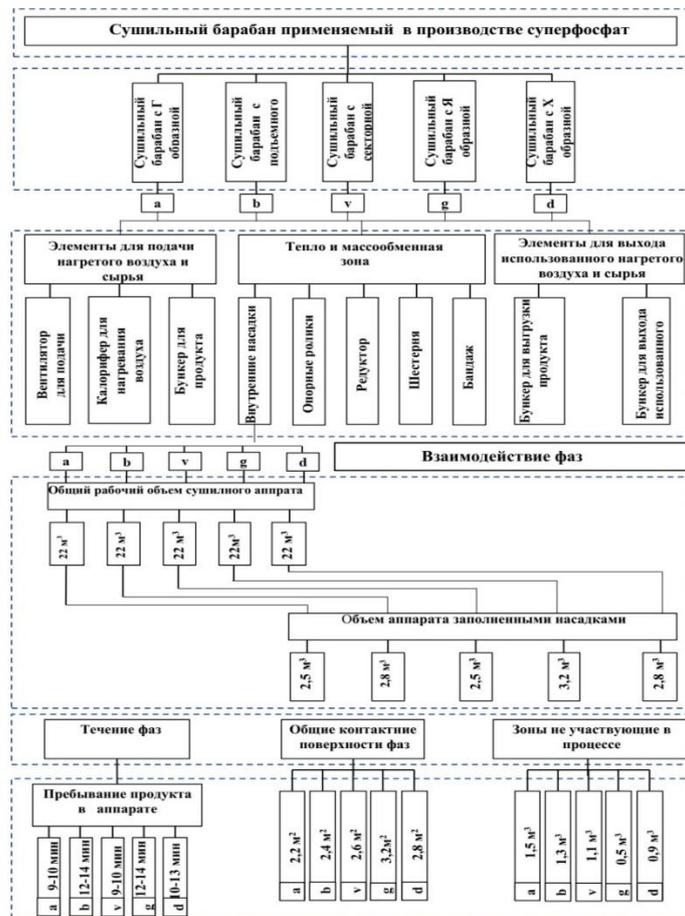
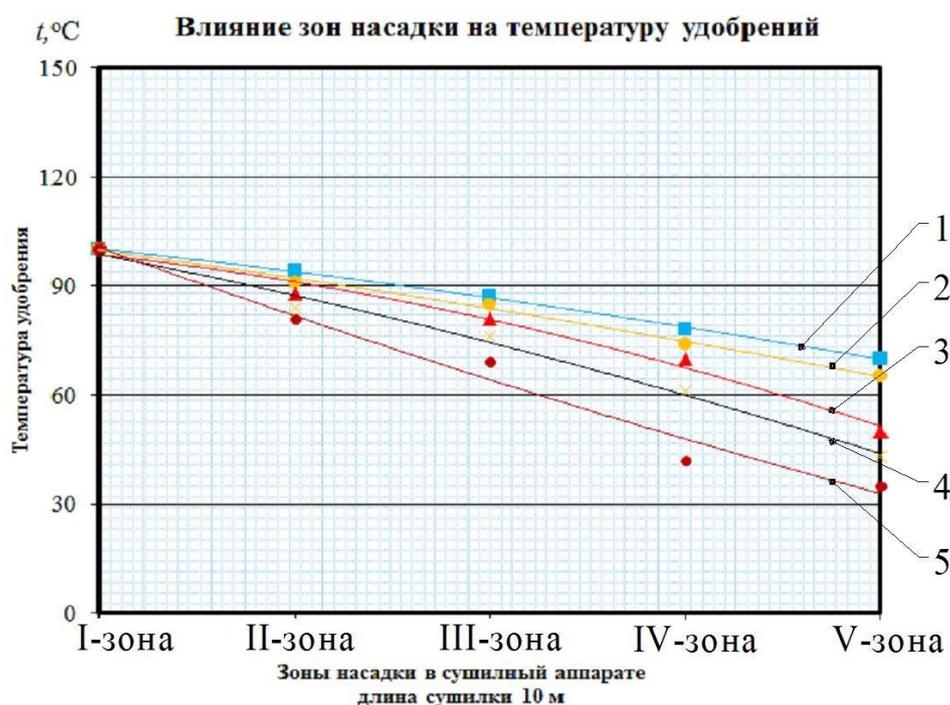


Рисунок 6. Схема четырехступенчатого этапа иерархического системного анализа.

Информация, представленная на рисунке 6, позволяет найти типы насадок, которые могут применяться в процессе, их рабочие параметры и оптимальные режимы. В этом случае важен каждый столбец четырехуровневых иерархических уровней.

Для оценки влияния конструкций насадок на взаимный теплообмен и выбор оптимальной конструкции в ходе исследования с использованием результатов анализа исследований влияние сушильного агента и его влияние на температуру продукции по зонам насадки (в существующем производстве насадочные зоны были размещены шахматным способом и состояли из пяти рядов) и построен сравнительный график (рисунок 7).



1- Г образная насадка; 2- подъемная лопастная насадка; 3- секторная насадка;  
4 – икс образная насадка; 5- Предлагаемая двухкомпонентная насадка.

Рис. 7. График изменения температуры в зависимости от типа насадки.

Из графических зависимостей на рисунке 7, видно, что температура выхода удобрения из сушилки на Г-образной насадке составляла 70°C, 65,1°C на подъемной лопастной насадке, 50 °C в секторной насадке, 43°C в икс образной насадке и 35°C в предлагаемой насадке, состоящей из двух частей. Это можно объяснить тем, что в процессе работы увеличение или уменьшение завесы материала на режущей поверхности барабана зависит от конструкции насадки. Это, в свою очередь, оказывает значительное влияние на температуру удобрения. По мере прохождения зона насадки влажность материала переходит к сушильному агенту, его температура снижается. Однако усложнение конструкции насадки и увеличение габаритных размеров приводит к увеличению гидравлических сопротивлений в сушилке. Следующие эмпирические формулы были получены с использованием метода наименьших квадратов для графических зависимостей, показанных на рисунке 7 [10; 11].

$$y = -0,4286x^2 - 5,0286x + 105,6 R^2 = 0,9989 \quad (1)$$

$$y = -0,3429x^2 - 6,6229x + 106,66 R^2 = 0,9956 \quad (2)$$

$$y = -1,4286x^2 - 3,2286x + 103,2 R^2 = 0,9862 \quad (3)$$

$$y = -0,7857x^2 - 8,9857x + 108,4 R^2 = 0,9909 \quad (4)$$

$$y = 0,6429x^2 - 20,757x + 120,6 R^2 = 0,9784 \quad (5)$$

### Вывод:

Проведен анализ конструкции насадки барабанной сушилки, используемой при производстве исследуемого удобрения, ее рабочих параметров, системы насадок различной конструкции и на основе анализа рекомендована усовершенствованная конструкция насадки, состоящей из двух частей.

Предложенная конструкция насадки была применена в реальных производственных условиях и экспериментально установлено, что она полностью удовлетворяет требованиям технологического регламента.

### Список использованных литератур:

1. Rasuljon, T., & Nargizaxon, R. (2022). Impact on the internal structure of materials to drying process. *Universum: технические науки*, (10-6 (103)), 10-18.
2. Ахунбаев, А. А., & Ражабова, Н. Р. (2021). Высушивание дисперсных материалов в аппарате с быстро вращающимся ротором. *Universum: технические науки*, (7-1 (88)), 49-52.
3. Tojiyev, R., & Rajabova, N. (2022). Impact on the internal structure of materials to drying process. Главный редактор: Ахметов Сайранбек Махсутович, д-р техн. наук; Заместитель главного редактора: Ахмеднабиев Расул Магомедович, канд. техн. наук; Члены редакционной коллегии, -2022-С. 10.
4. Rajabova, N. R., & Qodirov, A. B. (2022). Drying tonkodisperse materials in an unsuccessful rotary-druming machine. *International Journal of Advance Scientific Research*, 2(06), 35-39.
5. Tojiyev, R., & Rajabova, N. (2021). Experimental study of the soil crust destruction mechanism. *Scientific progress*, 2(8), 153-163.
6. Jumaboevich, T. R., & Rakhmonalievna, R. N. (2022). Installation for drying materials in a fluidized bed. *Innovative Technologica: Methodical Research Journal*, 3(11), 28-36.
7. Akhunbayev, A. A., & Rajabova, N. R. (2022). Drying of raw materials of cement production in the drum dryer. *International Journal of Advance Scientific Research*, 2(11), 50-59.
8. Ражабова, Н. Р., & Халилов, И. Л. (2023). Современное представление о типах оборудования и технологий сушки. *Scientific progress*, 4(1), 158-166.
9. Ахунбаев, А. А., & Ражабова, Н. Р. (2023). Особенности сушки волокнистых материалов и используемое оборудование. *Scientific progress*, 4(1), 167-175.
10. Rajabova, N., & Qodirov, A. B. (2023). Effect of drum dryer nozzle design on hydrodynamic regimes. *Web of Discoveries: Journal of Analysis and Inventions*, 1(2), 10-16.
11. Rajabova, Nargizakhon, and Shukurullo Habibullayev. "Impact of Disperse Materials Internal Structure to Drying Process." *Eurasian Journal of Engineering and Technology* 18 (2023): 136-144.

12. Tojiyev, R., Nargizakhon, R., & Abdusamad, M. (2023). Influence of the internal structure of the building material on the drying process. *American Journal of Technology and Applied Sciences*, 13, 8-13.
13. Ахунбаев, А., Ражабова, Н., & Сиддиков, М. (2021). Математическая модель сушки дисперсных материалов с учётом температуры материала. *Збірник наукових праць SCIENTIA*.
14. Ражабова, Н. Р., Агзамов, С. У., & Ёкубжонов, А. Т. (2022). Извлечении редких металлов в барботажном экстракторе. *Eurasian Journal of Academic Research*, 2(5), 893-895.
15. Тожиев, Р. Ж., Миршарипов, Р. Х., & Ражабова, Н. Р. (2022). Гидродинамические Режимы В Процессе Сушки Минеральных Удобрений. *Central asian journal of theoretical & applied sciences*, 3(5), 352-357.
16. Ахунбаев, А., Ражабова, Н., & Вохидова, Н. (2021). Механизм движения дисперсного материала при сушке тонкодисперсных материалов. *Збірник наукових праць SCIENTIA*.
17. Akhunbaev, A. A., Rajabova, N. R., & Honkeldiev, M. (2022, November). Drying of crystal and grain materials in a drum dryer. In *international conference dedicated to the role and importance of innovative education in the 21st century (Vol. 1, No. 7, pp. 27-35)*.
18. Akhunbaev, A. A., Rajabova, N. R., & Madaminova, G. I. (2022, November). Drying of sprayed dispersed materials. In *international conference dedicated to the role and importance of innovative education in the 21st century (Vol. 1, No. 7, pp. 184-191)*.
19. Ахунбаев, А. А., Ражабова, Н. Р., & Вохидова, Н. Х. (2020). Исследование гидродинамики роторной сушилки с быстровращающимся ротором. *Экономика и социум*, (12-1), 392-396.
20. Tojiyev, R., Erkaboyev, X., Rajabova, N., & Odilov, D. (2021). Mathematical analysis application of the gas-dynamic principle for deep cooling of the underway soil layer. *Scientific progress*, 2(7), 694-698.
21. Тожиев, Р. Д., Ахунбаев, А. А., & Миршарипов, Р. Х. Ражабова Н. Р. (2021). Исследование гидродинамических процессов при сушке минеральных удобрений в барабанных сушилках. *Научнотехнический журнал*, 4(4).
22. Axunboev, A., Rajabova, N., Nishonov, A., & Ulmasov, I. (2021). Hydrodynamics of the rotor dryer. *Barqarorlik va yetakchi tadqiqotlar onlayn ilmiy jurnali*, 1(5), 144-148.
23. Тожиев, Р. Ж., Садуллаев, Х. М., Миршарипов, Р. Х., & Ражабова, Н. Р. Суюкланма материалнинг кристалланиши ва куритиш жараёнларининг ўзига хослиги. *ФарПИ ИТЖ (STJ FerPI)*, –2019, –24 №, 1, 46-58.
24. Hakimov, A., Voxidova, N., Rajabova, N., & Mullajonova, M. (2021). The diligence of drying coal powder in the process of coal bricket manufacturing. *Барқарорлик ва Етакчи Тадқиқотлар онлайн илмий журнали*, 1(5), 64-71.
25. Tojiyev, R., Rajabova, N., Ortiqaliyev, B., & Abduolimova, M. (2021). Destruction of soil crust by impulse impact of shock wave and gas-dynamic flow of detonation products. *Innovative Technologica: Methodical Research Journal*, 2(11), 106-115.

26. Тожиев, Р. Ж., Миршарипов, Р. Х., Ражабова, Н. Р., & Муллажонова, М. М. (2022). Оптимизация существующей конструкции сушильного барабана. -119.
27. Тожиев, Р. Ж., Ахунбаев, А. А., Миршарипов, Р. Х., & Ражабова, Н. Р. (2018). Сушка тонкодисперсных материалов в безуносной роторно-барабанном аппарате. Научно-технический журнал ФерПИИ,-Фергана,(2), 116
28. Ахунбаев А.А., Ражабова Н.Р. и Хонкельдиев М. (2022). Сушка кристаллов и зерновых материалов в барабанной сушилке. Международная конференция, посвященная роли и значению инновационного образования в XXI веке, 1 (7), 27-35. Получено с <https://openidea.uz/index.php/conf/article/view/107>.
30. Ахунбаев А.А., & Давронбеков А.А. (2022). Минерал ўғитларни куриштиш объекти сифатида таҳлили. *Yosh Tadqiqotchi Jurnal*, 1(5), 221–228. Retrieved from <https://www.2ndsun.uz/index.php/yt/article/view/402>
31. Ахунбаев О.А., & Мамасалиев Н.С. (2022). Влияние анемии на течение сердечно-сосудистых заболеваний. *Экономика и социум*, (6-2 (97)), 329-332.
32. Тожиев, Р. Ж. Миршарипов Рахматилло Хабибуллаевич, Ахунбаев Адил Алимович, & Абдусаломова Нодира Абдумалик Кизи (2020). Оптимизация конструкции сушильного барабана на основе системного анализа процесса. *Universum: технические науки*,(11-1 (80)), 59-65.
33. Ортикалиев, Б. С., & Тожиев, Р. Ж. (2019). Сито-бурат СМ-237Арусумли оловбардош гишт хом ашёсини саралаш машинисини иш режмларини таҳлили. *Tojiyev, R., Ortiqaliyev, B., To'lashev, O., & Sobirov, X.*(2022). *Alumosilikat olovbardosh g 'ishtning xossalariga saralash jarayonini ta'siri tahlili. Scientific progress*, 3(4), 1271-1276.
34. Rasuljon, T., Isomiddinov, A., Ortiqaliyev, B., & Khursanov, B. Z. (2022). Influence of previous mechanical treatments on material grinding. *International Journal of Advance Scientific Research*, 2(11), 35-33. *Tojiyev, R. J., Ortiqaliyev, B. S. O. G. L., & Abdurayimov, A. A. O. G. L.* (2021). *Saralash mashinalarining qiyosiy tahlili. Science and Education*, 2(11), 359-367.
35. *Tojiyev, R., Ortiqaliyev, B., To'lashev, O., & Sobirov, X.* (2022). *Alumosilikat olovbardosh g 'ishtning xossalariga saralash jarayonini ta'siri tahlili. Scientific progress*, 3(4), 1271-1276.
36. *Tojiyev, R., Ortiqaliyev, B., Abdupattoyev, X., & G'ulomov, I.* (2021). Production of refractory bricks in industrial enterprises and sorting of their raw materials. *Материали конференций МЦНД*.
37. *Mukhamadsadikov, K., & Ortiqaliyev, B.* (2021). Analysis of parameters of the working part of the planting plant before planting. *Scientific progress*, 2(8), 115-125.
38. *Mukhamadsadikov, K., Ortiqaliyev, B., Olimova, D., & Isomiddinova, D.* (2021). Mathematical analysis of determining the parameters of the working part of the planting plant before planting. *Scientific progress*, 2(7), 699-708.
39. *Tojiyev, R. J., Ortikaliyev, B. S., Sobirov, K., & Tolashev, O.* (2022). Study of the mechanical and physico-chemical process of the metal structure of the sorting machine. *Conferencea*, 44-51.
40. *Ortiqaliyev, B. S. O. G. L.* (2023). *Zamonaviy saralash mashinalari konstruktsiyalarini tahlili. Scientific progress*, 4(1), 192-202.
41. *Mukhamadsadikov, K. J., & Ortiqaliyev, B. S. O.* (2022). Nomogram for determining the performance parameters of the pre-seeding leveler. *International Journal of Advance Scientific Research*, 2(11), 119-126.