ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ И РАЗРАБОТКА ТРЁХФАЗНОГО БЕСКОНТАКТНОГО КОММУТАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА

Р.Х.Бейтуллаева

Каршинский государственный технический университет доцент кафедры «Электроснабжение и интеллектуальные энергетические системы»;

Р.А. Мустаев

Каршинский государственный технический университет доцент кафедры «Электроснабжение и интеллектуальные энергетические системы»;

М.И.Собирова

Каршинский государственный технический университет магистрант 1-го курса по специальности «Электроснабжение»;

У.Б.Мухаммадиев

Каршинский государственный технический университет магистрант 1-го курса по специальности «Электрические сети и системы»;

Аннотация. В этой статье приведены сведения о трёхфазных коммутационных аппаратах, их недостатках возникающие в процессе коммутации, а также о разработанном трёхфазном бесконтактном пускателе, который устраняет эти недостатки. В процессе использовании этих устройств были рассчитаны показатели надёжности и проведены сравнения с показателями надёжности других аналогов бесконтактных пускателей. Силовая сеть бесконтактных пускателей создаётся с помощью симисторов или тиристоров. Цепь управления состоит из оптопар и микроконтроллера. Устройство безконтактного пускателя по сравнению с устройством контактного пускателя позволяет быстро осуществлять коммутационную операцию. Поэтому в сетях с современными схемами электроснабжения и возобновляемыми источниками энергии необходимость широкого использования этих устройств на сегодняшний день является одной из актуальных задач.

Ключевые слова: тиристор, асинхронный двигатель, энергосбережение, нагрузка, магнитный пускатель, пусковой ток, контактор, симистор.

Abstract. This article presents information on three-phase switching devices, the disadvantages that arise during the switching process, and a developed three-phase contactless starter that eliminates these drawbacks. During the use of these devices, reliability indicators were calculated and compared with the reliability indicators of other similar contactless starters. The power circuit of contactless starters is

ISSN 3030-3907

formed using triacs or thyristors. The control circuit consists of optocouplers and a microcontroller. Compared with conventional contact starters, the contactless starter enables faster switching operations. Therefore, in power networks with modern power supply schemes and renewable energy sources, the need for the widespread use of such devices is currently one of the most pressing tasks.

Keywords: thyristor, asynchronous motor, energy saving, load, magnetic starter, starting current, contactor, triac.

Annotatsiya. Ushbu maqolada uch fazali kommutatsiya apparatlari, ularni kommutatsiya jarayonida yuzaga keladigan kamchiliklar hamda ushbu kamchiliklarni bartaraf etuvchi ishlab chiqilgan uch fazali kontaktsiz ishga tushirgich haqida ma’lumotlar keltirilgan. Ushbu qurilmalardan foydalanish jarayonida ishonchlilik ko‘rsatkichlari hisoblab chiqilgan va boshqa analog kontaktsiz ishga tushirgichlarning ishonchlilik ko‘rsatkichlari bilan taqqoslangan. Kontaktsiz ishga tushirgichlarning kuch zanjiri simistorlar yoki tiristorlar yordamida shakllantiriladi. Boshqaruv zanjiri esa optoparalar va mikrokontrollerdan tashkil topgan. Kontaktsiz ishga tushirgich qurilmasi kontaktli ishga tushirgichlarga nisbatan kommutatsiya jarayonini tez va samarali amalga oshirish imkonini beradi. Shu sababli, zamonaviy elektr ta’minoti sxemalariga ega tarmoqlarda hamda qayta tiklanuvchi energiya manbalari mavjud bo‘lgan tizimlarda ushbu qurilmalardan keng foydalanish bugungi kunda dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Kalit so‘zlar: tiristor, asinxron dvigatel, energiya tejamkorligi, yuklama, magnit puskagich, ishga tushirish toki, kontaktor, simistor.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в условиях устойчивого роста потребления электроэнергии возрастает потребность в устройствах, обеспечивающих надежное подключение и отключение потребителей от электрической сети в зависимости от режимов их работы. В качестве пуско-коммутационной аппаратуры в сетях напряжением до 1000 В широко применяются магнитные пускатели и контакторы.

Указанные устройства рассчитаны на работу в цепях постоянного тока с номинальными напряжениями 220, 440, 650 и 750 В, а также в цепях переменного тока с напряжениями 220, 380, 500 и 660 В. Они обеспечивают коммутацию электрических нагрузок с частотой до 600–1500 включений в час [1-5].

Однако применение контактных пусковых устройств для ряда потребителей сопровождается рядом существенных недостатков, среди которых:

ISSN 3030-3907

- возникновение электрической дуги и искрения между контактами, что может привести к пожароопасным ситуациям;
- повышенный уровень шума в процессе работы и при пуске;
- приваривание контактов вследствие их нагрева и износа.

В связи с этим возникает необходимость в разработке устройств, способных осуществлять коммутацию электрических нагрузок за минимальное время и одновременно устранять указанные недостатки. С учетом изложенного одной из актуальных задач является создание простого и надежного бесконтактного коммутационного устройства для управления трехфазным электрооборудованием [2-7].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.

Одной из актуальных задач является разработка простого, надежного устройства для бесконтактного переключения в сеть трехфазного электрооборудования. С учетом этого было разработано новое трехфазное бесконтактное коммутационное устройство. Разработанный пускатель предназначен для запуска трехфазных потребителей и электродвигателей, принцип и параметры для его работы следующие:

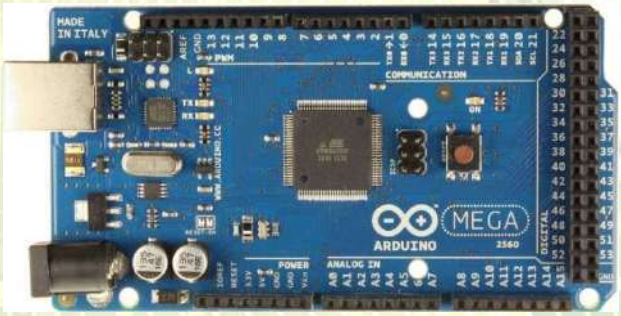
Номинальные параметры электрической трехфазной сети 380 В, частота 50 Гц. Для маломощных пускателей в схеме применяют симисторы, а для мощных — тиристоры, включенные встречно-параллельно. Предлагаемое устройство предназначено для маломощных трехфазных электропотребителей и электродвигателей, в силовой цепи применен автоматический выключатель.

В схеме управления используется микроконтроллер Arduino MEGA (рис. 1). Этот микроконтроллер способен принимать или выводить несвязанных с друг другом сигналов. Микроконтроллер получает питание от выпрямителя от сети 220 В, 50 Гц. Данный микроконтроллер полностью соответствует требуемым параметрам. Поскольку микроконтроллер имеет 54 точки ввода/вывода (Pins), с его помощью можно собрать широкий спектр схем запуска и управления[8-16].

Нажатием кнопки «ПУСК» осуществляется подключение электродвигателя к сети с помощью бесконтактного пускового устройства. В этом случае входной сигнал (5 В) поступает на вывод микроконтроллера. Посредством этого сигнала он подает выходные сигналы со своих выводов на основе программы, записанной в памяти микроконтроллера. Эти сигналы приводят к срабатыванию оптопар OP1, OP2, OP3. Оптопары выполняют подключения полюсов необходимого управляющего сигнала к цепи управления симисторов. С полюсов симисторов протекает ток потребителя.

ISSN 3030-3907

Если требуется отключить потребителя от сети, команда на выключение подается на микроконтроллер нажатием кнопки «СТОП». Подача выходных сигналов с Пинов прекращаются. Поскольку выходные сигналы прекращаются OP1, OP2, OP3 перестают работать. В свою очередь, цепи управления симисторов также отключаются. Это приводит к тому, что автоматические выключатели отключают подключенного потребителя от сети. Из-за длительного хранения напряжения в цепях оптопар и кнопок управления, чтобы не повредить элементы в этой цепи соединены последовательно через токоограничивающие сопротивления (R3, R'3, R''3). Целью подключения сопротивлений R4, R5 является то, что Pinы микроконтроллера очень чувствительны, и сопротивления предотвращают сбои в работе микроконтроллера из-за различных волновых или малых сигналов. Сигналы, которые могут формироваться до нажатия кнопок управления, отключаются нулевым полюсом GROUND микроконтроллера. При нажатии одной из кнопок управления напряжение подается на нужные Pinы, у которых из-за большого значения сопротивлений R4, R5 ток, протекающий через нулевой полюс GROUND, в несколько сотен раз меньше тока, подаваемого на Pin и не представляет никакой опасности для микроконтроллера. Ниже приведены основные параметры микроконтроллера[15-20].



Фигура 1 . Микроконтроллер Arduino МЕГА (ATmega2560)

Параметры микроконтроллера.

Микроконтроллер ATmega2560

Рабочее напряжение 5 В

Сетевое напряжение (рекомендуется) 7–12 В

Сетевое напряжение (предел) 6-20 В

Цифровое количество входов / выходов — 54 (из них можно использовать в качестве15 PWM- выходов).

Число аналоговых входов 16

Максимальное значение тока для выхода 40 мА

Максимальный исходящий ток и напряжение 3, 3 В; 50 мА

Флеш- память 256 КБ, из них 8 КБ —используется как загрузчик.

ISSN 3030-3907

Частота выходного тока 16 МГц.

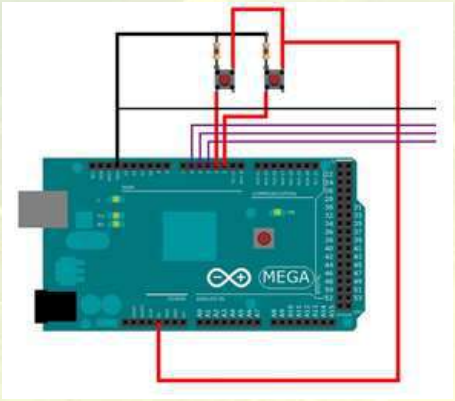


Рис 2. Схема соединения элементов блока управления Arduino MEGA (ATmega2560) к микроконтроллеру.

Сигналы напряжения, подаваемые на оптопары, передаются через сопротивления R3, R'3, R"3. Значение сопротивлений для оптопар выбирается из требуемых значений тока и напряжения

ПРОВЕРКА НАДЁЖНОСТИ .

Надёжность – это способность устройства выполнять свои функции в заданных условиях эксплуатации. На надёжность влияют: уровень нагрузки элементов схемы, окружающая среда, технологические факторы и др.

Надежность характеризуется средним рабочим временем $T = \frac{1}{\lambda_\Sigma}$, которая, в свою очередь., представляет собой зависимость от неожиданной интенсивной продолжительности отказов работы λ

Проверим на надёжность трёхфазный пускатель. Вероятность неожиданного несрабатывания пускателя определяется из следующей формулы.

$$\lambda_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i (1)$$

Надёжность сложного оборудования зависит от бесперебойной работы отдельных элементов. Количественная оценка непрерывной работы требует учета надежности всех элементов устройства[21-24].

Надёжность устройства определяется математически в течение времени непрерывной работы t из следующего выражения:

$$P = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Здесь: λ–продолжительность интенсивности неожиданных отказов от работы;

t – продолжительность непрерывной работы устройства.

Если устройство состоит из n элемента:

$$P_{\text{уст.}} = e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t} \dots\dots\dots e^{-\lambda_n t} = e^{-t(\lambda_1+\lambda_2+,,,,+\lambda_n)} \quad (3)$$

ISSN 3030-3907

В конкретных условиях надёжность меняется с течением времени неравномерно, поскольку условия эксплуатации, температура окружающей среды оказывают существенное влияние на режим работы устройств. Определить надёжность всего устройства можно, используя информацию о надёжности отдельных элементов устройства в течение 1000 часов непрерывной работы. Интенсивность отказов λ за t=1000 часов при запуске тиристоров большой мощности с помощью контактов малой мощности, управляемых электромагнитным способом [25-31]:

1 – таблица

	Название элемента	λ	p
1	Конденсатор	$(1{:}4\text{-}18)\cdot 10^{-6}$	**94,19÷ 91,38 %**
2	реле напряжения	$50 \cdot 10^{-6}$	
3	Сопротивление	$(3\ \text{-}1\ 3)\cdot 10^{-6}$	
4	Тиристор	$5{,}13 \cdot 10^{-6}$	
5	Диод	$(0{,}3\text{-}4)\cdot 10^{-6}$	
6	Фотодиод	$0{,}034 \cdot 10^{-6}$	

Таким образом, надежность мощного тиристорного пускового устройства с использованием маломощных контактов, управляемых электромагнитами за время эксплуатации в течение 1000 часов составляет 94,19÷91,38%. Интенсивность отказов в работе тиристорного бесконтактного пускателя:

2–Таблица

	Название элемента	λ	p
1	Диод	$(0{,}3\text{-}4)\cdot 10^{-6}$	**94,32 ÷ 93,04 % _ _**
2	Тиристор	$5{,}13 \cdot 10^{-6}$	
3	Сопротивление	$(3\ \text{-}1\ 3)\cdot 10^{-6}$	
4	реле напряжения	$50 \cdot 10^{-6}$	
5	Плавкий предохранитель	$0{,}011 \cdot 10^{-6}$	

Надежность тиристорного контактного пускателя за время эксплуатации в течение 1000 часов составляет 94,32÷93,04%. Интенсивность отказов симисторных бесконтактных пускателей:

3 – Таблица

	Имя элемента	λ	p
1	Конденсатор	$(1{:}4\text{-}18)\cdot 10^{-6}$	**99,53 ÷ 9 6 , 92 %**
2	Оптопара	$0{,}0\ 51\cdot 10^{-6}$	
3	Сопротивление	$(\ 3\ \text{-}1\ 3\ )\cdot 10^{-6}$	

ISSN 3030-3907

4	Автоматический выключатель	$0{,}2 \cdot 10^{-6}$	
5	Плавкий предохранитель	$0{,}011 \cdot 10^{-6}$	

• Надежность симисторного бесконтактного пускового устройства в течение 1000 часов работы составляет 99,53÷96,92%.

ВЫВОДЫ

Разработано новое бесконтактное коммутационное устройство для подключения к сети трёхфазных потребителей электроэнергии.

Была проведена проверка надёжности устройств бесконтактного пуска электродвигателей и электрооборудования работающего на возобновляемых источниках энергии.

Выбраны три альтернативные схемы и проведены сравнения показателей надёжности.

Определено что симисторное устройство с бесконтактным пускателем (P=99,53 %), по сравнению с тиристорным пускателем большой мощности с электромагнитным управлением в котором используются маломощные контакты (P=94,19 %), а также по сравнению с тиристорным бесконтактным пускателем (R=94,32 %) имеет лучшие характеристики.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бобожанов М.К., Файзиев М.М., Мустаев Р.А. Импульсный пускатель однофазного электродвигателя. // Патент на полезную модель. № ФАП 02240. 28.02.2023 г.
2. Клевцов А.В. Бесконтактное устройство с тормозным электродвигателем. Учебное пособие М: Инфра-Инжиниринг, 2018 -188 с.
3. Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. Электрооборудование станций и подстанций. Учебник. Т. Учитель 1986. 592 с.
4. Файзиев М.М., Мустаев Р.А., Ниязов Н.Н., Бабаев О.Е. Пуск электродвигателей и устройства бесконтактным способом//Проблемы энерго- и ресурсосбережения.-Ташкент, 2020.-№3-4, стр. 130-132. (05.00.00; №21).
5. Бободжанов М.К., Файзиев М.М., Мустаев Р.А. Устройства для бесконтактного пуска электродвигателей, работающих в тяжелых режимах работы//Проблемы энерго- и ресурсосбережения.-Ташкент, 2020.-Спецвыпуск (№83), стр. 215-218. (05.00.00; №21).
6. Бобожанов М.К., Файзиев М.М., Мустаев Р.А. Бесконтактные устройства для запуска электродвигателей//Инновационные технологии.-Карши, 2022.-Спецвыпуск. Страницы 11-13. (05.00.00; №38).

ISSN 3030-3907

7. Бобожанов М.К., Файзиев М.М., Мустаев Р.А. Применение бесконтактных устройств для пуска трехфазного асинхронного электродвигателя // Наука, техника и образование. Научно-методический журнал. -Москва, 2021.-№2(77), Часть 2. С. 65-67.
8. Бободжанов М.К., Файзиев М.М., Мустаев Р.А., Очилов Ю.О., Бабаев О.Е. Бесконтактные пусковые устройства // Международная конференция «Энерго- и ресурсосбережение: новые исследования, технологии и инновационные подходы».- Карши: КарИЭИ, 2021. С. 44-46.
9. Fayziyev, M., Tuychiev, F., Mustayev, R., & Ochilov, Y. (2023). Development and research of non-contact starting devices for electric consumers and motors. In E3S Web of Conferences (Vol. 384, p. 01038). EDP Sciences.
10. Kalandarovich, B. M., Mansurovich, F. M., Aktamovich, M. R., Elmurodovich, B. O., & Erkinovich, T. S. (2021). Applying the non-contact devices for starting a single-phase asynchronous electric motor. Вестник науки и образования, (11-2 (114)), 31-35.
11. Aktamovich, M. R., & Azamat o‘g‘li, R. M. (2023, June). “YASHIL IQTISODIYOT” GA O ‘TISHNING ENERGETIK JIHATLARI. In " USA" INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE TOPICAL ISSUES OF SCIENCE (Vol. 8, No. 1).
12. Fayziyev, M., Ochilov, Y., Nimatov, K., & Mustayev, R. (2023). Analysis of payment priority for electricity consumed in industrial enterprises on the base of classified tariffs. In E3S Web of Conferences (Vol. 384). EDP Sciences.
13. Bobojanov, M., Fayziyev, M., & Mustayev, R. (2022). ELEKTR MOTORLARNI ISHGA TUSHIRISH UCHUN KONTAKTSIZ QURILMALAR. Innovatsion texnologiyalar, 1, 11-13.
14. Файзиев, М. М., Абдурасулов, А., Маматкулов, А. Н., Каримов, И. Н., Мустаев, Р. А., & Тоштурдиев, Ш. Ж. У. (2019). Зарядные устройства для тока на базе магнитного усилителя. Наука, техника и образование, (8 (61)), 22-27.
15. Бобоназаров, Б. А., Бейтуллаева, Р. Х., & Мустаев, Р. А. (2019). ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ПРИВОД ДЛЯ МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ. Интернаука, (12-1), 43-46.
16. Mustayev, R. A., & Babayev, O. E. (2024). MIKROKONTROLLER ORQALI BOSHQARILUVCHI KONTAKTSIZ ISHGA TUSHIRISH QURILMASI ORQALI KONDENSATOR BATAREYALARNI BOSHQARISH. Ta'lim innovatsiyasi va integratsiyasi, 14(3), 19-21.
17. Rafikova, G., Mustaev, R., Pirimov, R., & Zokirova, F. (2023). Increasing the environmental cleanness of industrial enterprises. In E3S Web of Conferences (Vol. 461, p. 01100). EDP Sciences.

ISSN 3030-3907

18. Бобажанов, М. К., Файзиев, М. М., Мустаев, Р. А., & Бозоров, И. Р. (2021). ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПУСКА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ. Наука, техника и образование, (2-2 (77)), 65-67.
19. Бобажанов, М. К., Файзиев, М. М., Абдурасулов, А., Мустаев, Р. А., & Сайфиев, С. Э. (2020). Математическая модель расчета с применением бесконтактных элементов в управлении электрическими устройствами. Вестник науки и образования, (14-2 (92)), 5-8.
20. Aktamovich, M. R., & Azamat o‘g‘li, R. M. QUYOSH PANELLARI YORDAMIDA TURAR JOY BINOLARIDA “YASHIL” ELEKTR ENERGIYASINI ISHLAB CHIQARISH. ZAMONAVIY TARAQQIYOTDA ILM-FAN VA MADANIYATNING O ‘RNI RESPUBLIKA ILMIY KONFERENSIYASI 31-MAY, 2023yil, 29.
21. Mustaev, R. A. NON-CONTACT STARTER FOR SINGLE-PHASE CONSUMERS SUPPLIED FROM RENEWABLE SOURCES.
22. Mustayev, R. A., & Yo‘ldosheva, N. (2024, October). KICHIK QUVVATLI ELEKTR YURITMALARNI MIKROKONTROLLERLAR BILAN BOSHQARIB KONTAKTSIZ ISHGA TUSHIRISH. In Uz-conferences (No. 1, pp. 298-302).
23. ТОШЕВ, З., & МУСТАЕВ, Р. РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО БЕСКОНТАКТНОГО КОММУТАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА. Общество с ограниченной ответственностью" Центр полиграфических услуг" РАДУГА" КОНФЕРЕНЦИЯ: РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА Москва, 29 февраля–02 марта 2024 года Организаторы: НИУ «МЭИ» БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ: Входит в РИНЦ: да Цитирований в РИНЦ: 0 Входит в ядро РИНЦ: нет Цитирований из ядра РИНЦ: 0 Рецензии: нет данных ТЕМАТИЧЕСКИЕ РУБРИКИ:.
24. Kholikhmatov, B., Djumabekova, A., Ismailova, Z., & Mustaev, R. (2024, June). Design and evaluation of a logical framework for an instructional simulator in basic power supply principles. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3152, No. 1, p. 050031). AIP Publishing LLC.
25. Бейтуллаева, Р. Х., Очилов, Ю. О., Курбонов, Н. А., & Мухаммадиев, Ш. М. (2020). ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО НАПРЯЖЕНИЯ В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6-10 КВ. ББК 72 П115, 17.
26. Бейтуллаева, Р. Х., Тошев, Т. У., & Бобоназаров, Б. С. (2019). ТРЕБОВАНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ. In Colloquium-journal (No. 9-2, pp.

ISSN 3030-3907

29-29). Голопристанський міськрайонний центр зайнятості= Голопристанский районный центр занятости.
27. Очилов, Ю. О., & Бегимқулов, С. А. (2025). МУҚОБИЛ ЭНЕРГИЯ МАНБАЛАРИ ВА ДИФФЕРЕНЦИАЛЛАШГАН ТАРИФЛАР ОРҚАЛИ ЭЛЕКТР ТАЪМИНОТИ ТИЗИМИНИНГ САМАРАДОРЛИГИНИ ОШИРИШ. Ilm fan taraqqiyotida raqamli iqtisodiyot va zamonaviy ta'limning o'rni hamda rivojlanish omillari, 6(1), 56-63.
28. Fayziyev, M., Bobojanov, M., & Ochilov, Y. (2022). ELEKTR ENERGIYA UCHUN TO ‘LOVLARNI TABAQALASHTIRILGAN TARIFLAR ASOSIDA TO ‘LASH SAMARADORLIGINING TAHLILI. Innovatsion texnologiyalar, 47, 7-10.
29. Ochilov, Y. O., & Saparov, A. X. (2025). SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN INDUSTRY AND ENERGY: ANALYSIS OF GREEN SOLUTIONS AND CALCULATION METHODS.
30. Ochilov, Y. (2022). IMPROVING THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF OIL WELLS BY ELECTRICAL PROCESSING BOTTOM-HOLE ZONE. Science and innovation, 1(A7), 384-389.
31. Shevelyov, A. A., Ashurov, F. R., Kantarbayev, S. U., Xo‘janazarov, S. A., & Ochilov, Y. O. (2025). TECHNOLOGICAL BREAKTHROUGH IN THE FIELD OF UNMANNED SYSTEMS: CREATION OF HIGHLY MANEUVERABLE DRONES. FARS International Journal of Education, Social Science & Humanities., 13(6), 254-261.

ISSN 3030-3907