

Научная статья

УДК 621.313.17

DOI: 10.55196/2411-3492-2025-4-50-126-133

## Обоснование выбора источника питания погружного центробежного электронасоса для малодебитных источников воды

Амур Григорьевич Фиапшев<sup>✉1</sup>, Николай Ефимович Цопанов<sup>2</sup>,  
Ирбек Хаджимуратович Есенов<sup>3</sup>, Таймураз Асланбекович Уртаев<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

<sup>2,3,4</sup>Горский государственный аграрный университет, улица Кирова, 37, Владикавказ, Россия, 362040

<sup>✉1</sup>energo.kbr@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3080-0901>

<sup>2</sup>nic1tsopanov1@bk.ru

<sup>3</sup>esenov1949@yandex.ru

<sup>4</sup>tamu\_1984@mail.ru

**Аннотация.** Одной из актуальных инженерных задач, связанных с обеспечением автономного водоснабжения удалённых объектов, является выбор оптимального источника питания и определение рациональных режимов работы погружных центробежных электронасосов, используемых в условиях ограниченных водных ресурсов. Малодебитные родники, шахтные колодцы и скважины малого диаметра предъявляют повышенные требования к компоновке оборудования, его энергетической эффективности и надёжности. В таких системах требуется применение компактных и высокоэффективных водоподъёмных установок, способных функционировать в отсутствие централизованного электроснабжения. В работе рассматривается комплексная схема автономного водоснабжения для малодебитных источников, основанная на использовании системы «тепловой двигатель–генератор повышенной частоты–погружной центробежный электронасос». На основе анализа отечественных исследований показано, что в условиях отсутствия централизованного электроснабжения наиболее перспективным источником питания являются синхронные и асинхронные генераторы повышенной частоты, приводимые в действие двигателями внутреннего сгорания. Обосновано, что увеличение частоты вращения и частоты питающего тока приводит к существенному снижению металлоёмкости и габаритов погружных электронасосов, способствует переходу к моноблочным конструкциям и расширяет возможности их применения в шахтных колодцах малых сечений и в скважинах с уменьшенными диаметрами. Использование генераторов увеличенной частоты в составе автономных систем позволяет стабилизировать подачу электроэнергии за счёт более высокой динамической устойчивости, чем у низкооборотных генераторов.

**Ключевые слова:** погружной центробежный электронасос, автономная водоподъёмная установка, повышенная частота тока, малодебитные источники воды, генератор

**Для цитирования:** Фиапшев А. Г., Цопанов Н. Е., Есенов И. Х., Уртаев Т. А. Обоснование выбора источника питания погружного центробежного электронасоса для малодебитных источников воды // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета имени В. М. Кокова. 2025. № 4(50). С. 126–133. DOI: 10.55196/2411-3492-2025-4-50-126-133

Original article

## Justification for the selection of a power source for a submersible centrifugal electric pump for low-flow water sources

Amur G. Fiapshyev<sup>✉1</sup>, Nikolay Ye. Tsopanov<sup>2</sup>, Irbek Kh. Yesenov<sup>3</sup>, Taimuraz A. Urtaev<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik, Russia, 360030

<sup>2,3,4</sup>Gorsky State Agrarian University, 37 Kirov Street, Vladikavkaz, Russia, 362040

<sup>✉1</sup>energo.kbr@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3080-0901>

<sup>2</sup>nic1tsopanov1@bk.ru

<sup>3</sup>esenov1949@yandex.ru

<sup>4</sup>tamu\_1984@mail.ru

**Abstract.** One of the urgent engineering tasks related to providing autonomous water supply to remote facilities is to select the optimal power source and determine the rational operating modes of submersible centrifugal electric pumps used in conditions of limited water resources. Low-flow springs, shaft wells, and small-diameter wells place high demands on equipment layout, energy efficiency, and reliability. Such systems require the use of compact and highly efficient water-lifting installations capable of operating in the absence of a centralized power supply. The paper considers a comprehensive scheme of autonomous water supply for low-flow sources based on the use of the "heat engine–high-frequency generator–submersible centrifugal electric pump" system. Based on the analysis of domestic research, it has been shown that in the absence of a centralized power supply, the most promising power source is synchronous and asynchronous generators of increased frequency powered by internal combustion engines. It is proved that an increase in the rotation frequency and the frequency of the supply current leads to a significant reduction in the metal consumption and dimensions of submersible electric pumps, promotes the transition to monoblock structures and expands the possibilities of their use in shaft wells of small cross-sections and in wells with reduced diameters. The use of high-frequency generators as part of autonomous systems makes it possible to stabilize the power supply due to higher dynamic stability than low-speed generators.

**Keywords:** submersible centrifugal electric pump, autonomous water-lifting unit, high-frequency power supply, low-flow water source, generator

**For citation:** Fiapshyev A.G., Tsopanov N.E., Yesenov I.Kh., Urtaev T.A. Justification for the selection of a power source for a submersible centrifugal electric pump for low-flow water sources. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2025;4(50):126–133. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2025-4-50-126-133

**Введение.** Как отмечено в ряде отечественных исследований, вопросы повышения частоты питающего тока и частоты вращения рабочих органов насосов рассматривались ещё в рамках исследований высокоскоростных машин и насосных агрегатов [1]. Показано, что переход к повышенным частотам обеспечивает снижение металлоёмкости, уменьшение габаритных размеров и повышение энергетической эффективности насосных установок, что является принципиально важным для эксплуатации в шахтных колодцах малого сечения и глубоких скважинах [2, 3].

Несмотря на значительный практический опыт, накопленный в области разработки автономных электронасосных установок, комплексная оценка эффективности систем «тепловой двигатель–генератор повышенной частоты–погружной электронасос» остаётся недостаточно раскрытой. В существующей литературе основное внимание уделяется отдельным элементам системы – вопросам оптимизации насосов [4], повышению частоты вращения [5, 6], а также особенностям работы генераторов увеличенной частоты [7]. Однако их совместное применение для малодебитных источников воды требует уточнения парамет-

ров и анализа условий обеспечения необходимых гидравлических характеристик при минимальных энергетических потерях.

В этой связи представляет интерес исследование выбора источника питания погружных электронасосов, способного обеспечить устойчивые параметры работы агрегата при повышенной частоте тока. Особое внимание уделяется определению предельных частот вращения и фильтрации условий, при которых сохраняются допустимые кавитационные и тепловые режимы работы насоса [8].

**Цель исследования** заключается в обосновании рационального выбора источника питания и частоты тока для погружных центробежных электронасосов, предназначенных для эксплуатации в условиях малодебитных водисточников.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Основной задачей настоящего исследования является определение оптимальных параметров электропитания погружного центробежного электронасоса, используемого в составе автономной установки водоподъёма из малодебитных источников. Особое внимание уделяется выбору рациональной частоты питающего тока и характеристик источника энергии, обеспечивающих необходимые гидравлические режимы работы насоса при минимальных энергетических потерях.

При проведении анализа исходили из необходимости согласования следующих ниже факторов.

1. *Гидравлические условия работы водисточника.* Малодебитный приток накладывает ограничения на производительность насоса, допустимую частоту вращения рабочего колеса, диапазон кавитационной устойчивости и возможное повышение температуры в зоне перекачивания [9].

2. *Электромеханические характеристики привода.* Параметры электродвигателя погружного исполнения должны соответствовать условиям работы при повышенной частоте тока, изменённой механической нагрузке и возможных отклонениях напряжения, характеристиках для автономных электростанций [10].

3. *Параметры источника питания.* Необходимо обеспечить устойчивую подачу электроэнергии заданной частоты и мощности. Рассматривались варианты питания от асин-

хронных и синхронных генераторов повышенной частоты, приводимых в действие тепловыми двигателями различного типа [11].

Для достижения цели исследования была сформулирована следующая последовательность действий:

- выполнен анализ энергетических характеристик погружных электронасосов различного конструктивного исполнения;
- рассмотрена возможность повышения частоты тока с учётом ограничений по нагреву, вибрации и кавитационным параметрам;
- определены зависимости между частотой тока, частотой вращения и гидравлическими параметрами насоса;
- проведена проверка работоспособности установок при различных значениях частоты питающего напряжения;
- выполнено сопоставление параметров генераторов повышенной частоты и оценка их пригодности для использования в составе автономной водоподъёмной схемы.

Методической основой послужил аналитический подход, включающий:

- использование динамических моделей рабочего процесса погружных насосов;
- расчёт энергетических показателей электропривода на основании известных зависимостей электромеханического преобразования энергии;
- применение упрощённых математических моделей гидродинамики малодебитных источников воды;
- анализ технических характеристик генераторов повышенной частоты на основе опубликованных данных.

Для проверки достоверности полученных зависимостей результаты расчётов сравнивались с данными экспериментального исследования погружных центробежных насосов, приведённого в открытых источниках. Такой подход позволил обеспечить сопоставимость расчётных и фактических показателей и сделать выводы о возможности применения повышенной частоты тока в рассматриваемых условиях эксплуатации.

**Результаты исследования.** Исследование функционирования автономных электронасосных установок малой мощности показало, что подвод механической энергии к рабочему органу погружного насоса в подобных системах

осуществляется посредством электрической трансмиссии, включающей генератор с устройством стабилизации выходного напряжения. Такой способ энергопередачи позволяет компенсировать колебания частоты вращения первичного двигателя и поддерживать устойчивые электрические параметры питания.

Установлено, что при заданных значениях напора  $H$  и расхода  $Q$  центробежного насоса частота вращения рабочего колеса является фактором, определяющим конструктивные размеры и число рабочих ступеней. В условиях постоянных значений  $H$  и  $Q$  достижение высокого значения коэффициента полезного действия при переходе на иные частоты вращения  $n$  возможно только при сохранении неизменной быстродействия агрегата, что согласуется с известным выражением [4, 5]:

$$n_s = 3,65 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}.$$

Анализ показал, что увеличение частоты вращения рабочего колеса в три раза при неизменном коэффициенте быстродействия приводит к уменьшению диаметра рабочих колёс приблизительно на 30%, а количество ступеней при этом уменьшается почти в четыре раза. Это подтверждает значительное уменьшение массы и габаритных параметров погружного агрегата при использовании повышенных частот вращения.

Ограничивающим фактором повышения частоты вращения является кавитационная устойчивость насоса. Предельно допустимое значение частоты вращения определяется критическим коэффициентом кавитации по С. С. Рудневу [3]:

$$C_{kp} = 5,62 \cdot n \cdot \frac{\sqrt{Q}}{\Delta h_s^{3/4}}.$$

Подставив  $C_{kp}$ , получим

$$n_{kp} = \frac{C_{kp} \cdot \Delta h_s^{3/4}}{5,62 \cdot \sqrt{Q}},$$

где

$C_{kp}$  – критический коэффициент кавитации;  
 $h_s$  – высота всасывания, м вод. ст.;

$Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/час;

$n$  – частота вращения рабочего колеса, об/мин.

Подстановка экспериментально подтверждённых значений параметров малодебитных насосов, полученных в работах ВИЭСХ, показывает, что для насосов пастбищных водоподъёмных установок с подачей  $Q \approx 3$  л/с предельная частота вращения без возникновения кавитации достигает 12000–15000 об/мин при коэффициенте  $C=700–800$  и максимальной потере напора на всасывании  $\Delta h_s=7$  м вод. ст.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение электропитания повышенной частоты позволяет существенно интенсифицировать процесс водоподъёма за счёт уменьшения габаритных размеров насоса и улучшения энергетических характеристик агрегата. При этом важно обеспечить оптимальный баланс между частотой вращения и кавитационной устойчивостью, что определяет выбор рациональных значений частоты тока при работе от автономных генераторных установок.

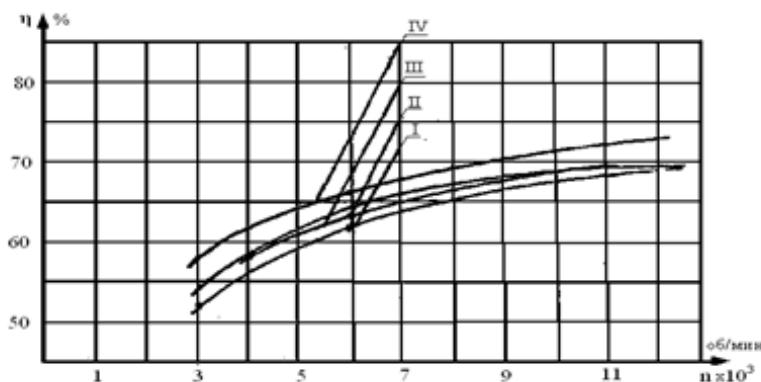
Для выявления оптимальных частот вращения насоса были выполнены вариантные расчёты рабочих ступеней, имеющих  $n_h=3000–12000$  об/мин при высоте подъёма воды  $H=10–60$  м вод. ст. и перекрытии поля подач от  $Q=0,4–2,4$  л/с. При этом предельное число ступеней электронасосов было ограничено 4-мя, исходя из условий получения моноблочной конструкции с размещением колёс на консольном валу электродвигателя.

Влияние частоты вращения на энергетические показатели агрегата подтверждается расчётными зависимостями изменения КПД насоса при различных параметрах подачи и напора. На рисунке 1 представлены зависимости  $\eta(n)$  для четырёх типовых режимов работы погружных центробежных насосов.

Одна ступень высокоскоростного насоса ( $n=12000$  об/мин) обеспечивает такой же коэффициент быстродействия, а, следовательно, и КПД, как четыре ступени насоса при скорости вращения  $n=3000$  об/мин при сохранении постоянными подачи и напора ( $Q=1,2$  л/с,  $H=40$  м). При частоте вращения  $n=4500$  об/мин тот же эффект достигается трёхступенчатым насосом, а при  $n=6000$  об/мин – двухступенчатым. Таким образом, использование высокоскоростных центробежных насосов с частотой вращения рабочего колеса  $n=(9000–12000$  об/мин) в пастбищных агрегатах можно считать наиболее целесообразным, так как они

способствуют обеспечению моноблочной, компактной конструкции всего электронасоса, снижению его габаритов и массы, причем уве-

личение частоты вращения до 9000 об/мин обеспечивает более интенсивный рост КПД, чем последующий рост.



**Рисунок 1.** Зависимость КПД насоса от частоты вращения для различных параметров насосов:  $\eta(n)$ :

I –  $Q=1,2 \text{ л/с}, H=40 \text{ м вод. ст.};$  II –  $Q=0,6 \text{ л/с}, H=20 \text{ м вод. ст.};$

III –  $Q=0,4 \text{ л/с}, H=10 \text{ м вод. ст.};$  IV –  $Q=2,0 \text{ л/с}, H=50 \text{ м вод. ст.}$

**Figure 1.** Pump efficiency dependence on rotation speed for various pump parameters:  $\eta(n)$ :

I –  $Q=1.2 \text{ l/s}, H=40 \text{ m of water};$  II –  $Q=0.6 \text{ l/s}, H=20 \text{ m of water};$

III –  $Q=0.4 \text{ l/s}, H=10 \text{ m of water};$  IV –  $Q=2.0 \text{ l/s}, H=50 \text{ m of water}$

Полученные расчётные данные позволяют объективно оценить влияние частоты питающего тока и частоты вращения рабочего колеса на конструктивные и эксплуатационные характеристики погружных насосов малой производительности. Уменьшение числа ступеней и габаритов рабочего органа при переходе на повышенные частоты вращения создаёт условия для реализации облегчённых насосных агрегатов, значительно более удобных для размещения в стеснённых условиях скважин и шахтных колодцев.

В то же время повышение частоты вращения приводит к росту удельных энергетических нагрузок, что требует тщательной оценки кавитационных параметров и допустимых условий всасывания. Как показали расчёты и сопоставление с экспериментальными данными, критическая частота вращения определяется прежде всего значением критического коэффициента кавитации и геометрией всасывающего тракта. При приближении частоты вращения к предельным значениям возрастает риск нестабильности рабочего процесса, который может проявляться в виде кавитационной эрозии, вибраций и нестандартных изменений подачно-напорных характеристик насоса.

Сравнение параметров насосов при работе на стандартной частоте (50 Гц) и повышенной частоте показывает, что подобные агрегаты характеризуются улучшенным соотношением «мощность–производительность» и меньшей металлоёмкостью. Для автономных систем водоподъёма, функционирующих в условиях отсутствия централизованного электроснабжения, это имеет принципиальное значение, поскольку снижается требуемая мощность первичного двигателя и повышается общая эффективность установки.

Также следует отметить, что использование генераторов увеличенной частоты в составе автономных систем позволяет стабилизировать подачу электроэнергии за счёт более высокой динамической устойчивости, чем у низкооборотных генераторов. Их применение обеспечивает более точное соответствие энергетических характеристик источника питания требованиям электродвигателя погружного насоса, что особенно важно при работе в условиях переменной нагрузки и ограниченных энергетических ресурсов.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что использование электропитания повышенной частоты для погружных центробежных насосов малодебитных источников является технически оправданным

и позволяет существенно повысить эффективность автономных водоподъёмных систем при соблюдении ограничений по кавитационным и гидравлическим режимам.

**Выводы.** Проведённый анализ подтвердил, что для автономных водоподъёмных установок, работающих на малодебитных источниках воды, ключевым фактором обеспечения требуемых гидравлических параметров является рациональный выбор источника питания погружного электронасоса и частоты питающего тока. Переход к повышенным частотам позволяет реализовать существенно более компактные конструктивные решения насосных агрегатов.

Установлено, что увеличение частоты вращения рабочего колеса при сохранении быстротходности агрегата приводит к уменьшению диаметра рабочих ступеней и сокращению их числа, что способствует снижению металлоёмкости и общего веса погружного насоса. Эти особенности особенно важны для эксплуатации в шахтных колодцах малого сечения и скважинах с ограниченным диаметром.

На основе анализа кавитационных характеристик определено, что предельно допустимые частоты вращения ограничиваются параметрами критического коэффициента

кавитации и величиной потерь напора на всасывании. Результаты расчётов показывают, что для насосов с подачей порядка 3 л/с допустимая частота вращения составляет 12000–15000 об/мин, что подтверждает возможность применения высокочастотных электроприводов без нарушения устойчивости рабочего процесса.

Сопоставление эксплуатационных характеристик низкочастотных и высокочастотных автономных электронасосных установок показало, что использование генераторов повышенной частоты обеспечивает улучшенные энергетические показатели, а также повышает стабильность подачи электроэнергии в условиях нестабильной механической нагрузки от теплового двигателя.

Полученные результаты свидетельствуют о технической целесообразности применения схемы «тепловой двигатель–генератор повышенной частоты–погружной электронасос» для водоснабжения объектов, удалённых от централизованных электросетей. Такой подход обеспечивает более высокую энергетическую эффективность и расширяет область применения автономных систем водоподъёма на базе малодебитных источников воды.

### Список литературы

1. Фиапшев А. Г., Хамоков М. М., Кильчукова О. Х. Проблемы энергообеспечения предприятий Кабардино-Балкарской Республики // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2020. № 1(27). С. 63–68. EDN: OMGCKJ
2. Экологически чистые и ресурсосберегающие альтернативные системы энергоснабжения сельскохозяйственных предприятий Кабардино-Балкарской Республики: монография / А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов [и др.]. Нальчик, 2022. ISBN: 978-5-89125-194-6. EDN: JDKHIW
3. Повышение энергетической эффективности отраслей агропромышленного комплекса / С. В. Оськин, А. В. Коржаков, И. Н. Шишигин, А. А. Лоза // Сельский механизатор. 2022. № 1. С. 42–43. EDN: SBMVBB
4. Цопанов Н. Е., Рапутов Б. М., Кудзаев А. Б. Автоматическое регулирование работой погружного электронасоса для малодебитных источников воды // Известия Горского государственного аграрного университета. 2004. Т. 41. С. 98.
5. Погружной электродвигатель насосной установки для локального водоснабжения / Н. Е. Цопанов, И. Х. Есенов, Т. Р. Бароев [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2008. № 8. С. 11–12.
6. Цопанов Н. Е. Погружной электронасос для глубоких малодебитных источников воды // Известия Горского государственного аграрного университета. Т. 46. № 2. 2009 С. 123–126. EDN: MVJLGZ
7. Патент 2351803. Российская Федерация, МПК F04D 9/02, F04D 13/0. Способ обеспечения пуска электронасосов и устройство для его осуществления. / И. Х. Есенов, Н. Е. Цопанов, Н. И. Гриднев, А. Б. Кудзаев; патентообладатель Горский государственный аграрный университет. № 2007122878; заявл. 18.06. 2007; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.

8. Патент 2477389. Российская Федерация, МПК F04D 13/08. Погружной электронасос для глубоких малодебитных источников воды / Н. Е. Цопанов, И. Х. Есенов, А. Б. Кудзаев [и др.]; патентообладатель Горский государственный аграрный университет. № 2009140539; заявл. 02.11. 2009; опубл. 10.03.2013, Бюл. № 7.

9. Модульное агрегатирование преобразователей электроэнергии мобильных энергосистем / О. В. Григораш, Ю. В. Даус, А. В. Квитко, П. М. Барышев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2024. № 3(75). С. 339–348. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-39. EDN: BRWTFI

10. Выбор оптимального противодействующего усилия для достижения максимального быстродействия электромагнита / А. Г. Фиапшев, М. М. Хамоков, О. Х. Кильчукова, К.С. Розуматова // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 1(35). С. 128–136. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-128-136. EDN: VKGMQK

11. Цопанов Н. Е., Фиапшев А. Г., Гриднев Н. И. Учёт быстроходности при конструировании погружных центробежных электронасосов для малодебитных глубоких источников воды // Известия Горского государственного аграрного университета. 2013. Т. 50. № 2. С. 216–219. EDN: QCFIIP

## References

1. Fiapshev A.G., Khamokov M.M., Kil'chukova O.X. Problems of energy support of the enterprises of the Kabardino-Balkarian Republic. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;1(27):63–68. (In Russ.). EDN: OMGCKJ

2. Apazhev A.K., Shekixachev Yu.A., Khazhmetov L.M. [et al.]. *Ekologicheski chistye i resursosberegayushchie al'ternativnye sistemy energosnabzheniya sel'skohozyajstvennyh predpriyatiy Kabardino-Balkarskoj Respubliki: monografiya* [Environmentally friendly and resource-saving alternative energy supply systems for agricultural enterprises of the Kabardino-Balkarian Republic: monograph]. Nalchik, 2022. ISBN 978-5-89125-194-6. (In Russ.). EDN: JDKHIW

3. Oskin S.V., Korzhakov A.V., Shishigin I.N., Loza A.A. Improving the energy efficiency of the agro-industrial complex. *Sel'skiy mekhanizator*. 2022;(1):42–43. (In Russ.). EDN: SBMVBB

4. Tsapanov N.E., Raputov B.M., Kudzaev A.B. Automatic control of the operation of a submersible electric pump for low-flow water sources. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2004;41:98. (In Russ.)

5. Tsapanov N.E., Yesenov I.Kh., Baroev T.R. [et al.]. Submersible electric motor of a pumping unit for local water supply. *Mekhanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo hozyajstva*. 2008;(8):11–12. (In Russ.)

6. Tsapanov N.E. Submersible electric pump for deep, low-flow water sources. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2009;46(2):123–126. (In Russ.). EDN: MVJLGZ

7. Patent 2351803. Russian Federation, Int. Cl. F04D 9/02, F04D 13/0. Method of starting electrically driven pumps and device to this end. I.Kh. Yesenov, N.Ye. Tsapanov, N.I. Gridnev, A.B. Kudzaev; patent holder: Gorskiy gosudarstvennyj agrarnyj universitet. No. 2007122878; application 18.06. 2007; publ. 10.04.2009, Bull. No. 10. (In Russ.).

8. Patent 2477389. Russian Federation, Int. Cl. F04D 13/08. Downhole electrically driven pump for deep low-yield water sources. N.E. Tsapanov, I.Kh. Yesenov, A.B. Kudzaev [et al.]; patent holder: Gorskiy gosudarstvennyj agrarnyj universitet. No. 2009140539; application 02.11. 2009; publ. 10.03.2013, Bull. No. 7. (In Russ.).

9. Grigorash O.V., Daus Yu.V., Kvitko A.V., Baryshev P.M. Modular aggregation of power converters of mobile power systems. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2024;3(75):339–348. (In Russ.). DOI: 10.32786/2071-9485-2024-03-39. EDN: BRWTFI

10. Fiapshev A.G., Khamokov M.M., Kilchukova O.Kh., Rozumatova K.S. Selection of the optimal reactive force to achieve the maximum speed of the electromagnet. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;1(27):63–68. 2022;1(35):128–136. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-128-136. EDN: VKGMQK

11. Tsapanov N.E., Fiapshev A.G., Gridnev N.I. Consideration of specific speed when designing the electrical centrifugal immersed pump for deep low yield water sources. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2013;50(2):216–219. (In Russ.). EDN: QCFIIP

**Сведения об авторах**

**Фиапшев Амур Григорьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», SPIN-код: 2111-4506, Scopus ID: 57216563705, Researcher ID: AAE-4739-2019

**Цопанов Николай Ефимович** – старший преподаватель кафедры электрооборудования, электротехнологий и энергообеспечения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 6999-5541

**Есенов Ирбек Хаджимуратович** – кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования, электротехнологий и энергообеспечения, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 2980-6243

**Уртаев Таймураз Асланбекович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Горский государственный аграрный университет», SPIN-код: 7380-6906

**Information about the authors**

**Amur G. Fiapshyev** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of "Enterprise Power Supply", Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 2111-4506, Scopus ID: 57216563705, Researcher ID: AAE-4739-2019

**Nikolay Ye. Tsopanov** – Senior Lecturer, Department of "Electrical Equipment, Electrical Technologies and Power Supply", Gorsky State Agrarian University, SPIN-code: 6999-5541

**Irbek Kh. Yesenov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of "Electrical Equipment, Electrical Technologies and Power Supply", Gorsky State Agrarian University, SPIN-code: 2980-6243

**Taimuraz A. Urtaev** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Technical Systems in Agribusiness", Gorsky State Agrarian University, SPIN-code: 7380-6906

---

**Авторский вклад.** Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант статьи.

**Author's contribution.** All authors have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. All authors have read and approved the final version of this article.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

---

Статья поступила в редакцию 21.11.2025;  
одобрена после рецензирования 04.12.2025;  
принята к публикации 12.12.2025.

*The article was submitted 21.11.2025;  
approved after reviewing 04.12.2025;  
accepted for publication 12.12.2025.*