***Key words:*** *Artificial Intelligence (AI), critical thinking, Bloom's taxonomy,gamification, mobile learning, adaptive learning systems, secondary education.*

**Авторлар туралы мәліметтер**

**Арай Мейрамбайқызы Қасенхан** – PhD, қауымдастырылған профессор, Satbayev University; e-mail: a.kassenkhan@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6355-9544.

**Әсем Тултанқызы Аяпбергенова*** – магистр, Satbayev University; e-mail: a.ayapbergenova@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6388-9458.

**Назерке Серікханқызы Байгаринова** – магистр, Satbayev University; e-mail: n.baigarinova@satbayev.university.

**Әділет Маратұлы Аманғосов** – магистр, Satbayev University; e-mail: adilet.amangossov@gmail.com.

**Жанібек Назарбекұлы Исабеков** – PhD, қауымдастырылған профессор, Satbayev University; e-mail: z.issabekov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2900-8025.

**Сведения об авторах**

**Арай Мейрамбаевна Касенхан** – PhD, ассоциированный профессор, Satbayev University; e-mail: a.kassenkhan@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6355-9544.

**Асем Тултановна Аяпбергенова*** – магистр, Satbayev University; e-mail: a.ayapbergenova@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6388-9458.

**Назерке Серикхановна Байгаринова** – магистр, Satbayev University; e-mail: n.baigarinova@satbayev.university.

**Адилет Маратович Амангосов** – магистр, Satbayev University; e-mail: adilet.amangossov@gmail.com.

**Жанібек Назарбекұлы Исабеков** – PhD, ассоциированный профессор, Satbayev University; e-mail: z.issabekov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2900-8025.

**Information about authors**

**Arai Meirambayevna Kassenkhan** – PhD, associate professor, Satbayev University; e-mail: a.kassenkhan@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6355-9544.

**Assem Tultanovna Ayapbergenova*** – master's, Satbayev University; e-mail: a.ayapbergenova@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6388-9458.

**Nazerke Serikkhanovna Baigarinova** – master, Satbayev University; e-mail: n.baigarinova@satbayev.university.

**Adilet Amangosov** – master's degree, Satbayev University; e-mail: adilet.amangossov@gmail.com.

**Zhanibek Nazarbekuly Issabekov** – PhD, associate professor, Satbayev University; e-mail: z.issabekov@satbayev.university. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2900-8025.

*Редакцияға енуі 14.04.2026*
*Өңдеуден кейін түсуі 29.06.2026*
*Жариялауға қабылданды 24.08.2026*

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-16

МРНТИ: 47.05.17

CC BY 4.0
Check for updates

**А.С. Инчин[1], А.З. Айтмагамбетов[1,2], А.Е. Кулакаева[2]*, С.Ж. Жұмағали[1], У.К. Уали[1]**
[1]ТОО «Институт космической техники и технологий»,
050061, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Кисловодская, 34
[2]АО «Международный университет информационных технологий»,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Манаса, 34/1
*e-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz

## ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ МОДУЛЕЙ НАВИГАЦИОННОЙ ПЛОМБЫ

***Аннотация:*** *В статье представлено исследование энергопотребления модульной навигационной пломбы, используемой в системах мониторинга грузоперевозок. Ограниченное время автономной работы является одним из эксплуатационных факторов, влияющих на надежность контроля груза. Цель работы заключалась в разработке испытательного стенда и количественной оценке вклада отдельных модулей в общее*

©А.С. Инчин, А.З. Айтмагамбетов, А.Е. Кулакаева, С.Ж. Жұмағали, У.К. Уали, 2026

*энергопотребление устройства для последующей настройки алгоритмов управления питанием.*

*Для проведения исследования был разработан стенд на базе датчиков тока и напряжения INA219 и микроконтроллера Raspberry Pi Pico. Стенд обеспечивал автоматическую регистрацию и сохранение результатов измерений. В ходе испытаний оценивалось энергопотребление GSM-модуля SIM800C, GPS-модуля MAX-8Q, Bluetooth-модуля HC-09, NFC-модуля RC522, центрального микроконтроллера и датчика AHT20 в активном и спящем режимах. Расчет среднего тока и времени автономной работы при емкости аккумулятора 3500 мА·ч выполнялся с учетом циклической активации устройства и передачи данных.*

*Результаты показали, что суммарный потребляемый ток в активном режиме составляет около 272 мА, а в спящем режиме – 2,8 мА. При активации устройства каждые 15 минут расчетное время автономной работы достигает 16,6 суток, что показывает эффективность применения энергосберегающих режимов.*

*Разработанный стенд позволил получить воспроизводимые данные об энергопотреблении отдельных модулей навигационной пломбы. Также полученные результаты могут быть использованы для настройки режимов работы GSM, GPS, Bluetooth, NFC-модулей и датчиков, а также для повышения энергоэффективности устройств, применяемых в логистическом мониторинге.*

***Ключевые слова:*** *испытательный стенд, модульные навигационные пломбы, логистические системы, энергоэффективность, управление энергопотреблением, мониторинг, контроль.*

**Введение**

В логистических системах все большее значение имеет непрерывный контроль состояния и местоположения грузов во время перевозки. Для этого применяются электронные навигационные пломбы (НП), которые позволяют фиксировать перемещение груза, контролировать факт вскрытия и передавать данные в режиме реального времени. Надежность таких устройств особенно важна при длительных маршрутах, когда доступ к НП ограничен, а замена источника питания или самого устройства затруднена.

На практике многие НП выполнены в виде единого устройства, где навигационный модуль, модуль связи, датчики и блок питания размещены в одном корпусе. Такой подход упрощает конструкцию, но имеет и ограничения. При отказе одного компонента часто требуется ремонт или замена всего устройства. Кроме того, модернизация отдельных узлов, например GSM, GPS или Bluetooth-модуля, становится менее удобной.

В связи с этим актуальным направлением является разработка модульной НП, в которой отдельные функциональные элементы могут быть заменены или доработаны без изменения всей системы. Такой подход позволяет упростить обслуживание устройства, снизить эксплуатационные затраты и выбрать более рациональные режимы энергопотребления для каждого модуля. Это особенно важно для автономных НП, работающих длительное время без внешнего электропитания.

Так, современные системы мониторинга грузов используют электронные НП, в состав которых обычно входят модуль определения координат, канал передачи данных, датчики состояния и управляющий контроллер. В большинстве известных решений эти элементы объединены в единую конструкцию. Такой вариант удобен с точки зрения компоновки и защиты корпуса, однако он ограничивает возможность замены отдельных узлов и усложняет модернизацию устройства при изменении требований к связи, навигации или энергопотреблению [1].

В существующих литературах основное внимание, как правило, уделяется общей архитектуре НП, способам передачи данных и обеспечению контроля груза. При этом модульный принцип построения таких устройств рассматривается ограниченно. Здесь есть отдельный практический нюанс. Для устройств, работающих в длительном автономном режиме, важно не только обеспечить передачу координат и событий, но и понимать, какой именно узел вносит наибольший вклад в расход энергии.

Модульный подход позволяет рассматривать различные модули, датчики и управляющий контроллер как отдельные функциональные блоки. Такой подход упрощает их замену, настройку и последующую модернизацию. Аналогичный подход применяется в сенсорных сетях, IoT-устройствах и модульных робототехнических системах, где раздельное управление функциональными узлами помогает повысить гибкость системы и снизить энергопотребление за счет отключения неиспользуемых компонентов [2-4].

Для автономной НП энергопотребление является одним из основных эксплуатационных параметров. На практике значительная часть заряда аккумулятора расходуется модулями связи и навигации, особенно при передаче данных и поиске координат [5]. GSM и GPS-модули обычно формируют наибольшую нагрузку, тогда как Bluetooth, NFC и датчики окружающей среды потребляют меньше энергии, особенно в режиме ожидания или сна. Однако во многих исследованиях энергопотребление оценивается суммарно для всего устройства. Из-за этого сложно определить, какие компоненты необходимо оптимизировать в первую очередь.

В ряде исследований рассматривается энергопотребление IoT-устройств и смартфонов при использовании различных каналов связи и протоколов обмена данными [6]. Однако такие результаты не всегда можно напрямую перенести на НП, применяемые в логистических перевозках. Эти устройства работают по другим сценариям: длительное ожидание на складе или на границе, периодическая передача координат, переход между активным и спящим режимами, а также восстановление работы после пробуждения. Поэтому для оценки их автономности требуется отдельный анализ энергопотребления функциональных модулей.

В работе [7] отмечается, что GPS-модуль может заметно влиять на общий расход энергии устройства. Также показана возможность применения моделей машинного обучения для прогнозирования срока службы батареи. Вместе с тем в существующих исследованиях чаще оценивается энергопотребление устройства в целом, без детального разделения по отдельным компонентам. Из-за этого сложно определить, какой модуль формирует основную нагрузку на аккумулятор и какие режимы работы следует оптимизировать в первую очередь.

Для получения таких данных необходим измерительный стенд, позволяющий фиксировать ток и напряжение в динамике. В работах [8, 9] предложены испытательные стенды для анализа энергопрофиля IoT-устройств и робототехнических систем. Однако эти решения, как правило, не ориентированы на НП и не всегда позволяют гибко подключать разные модули. Отдельные исследования также рассматривают энергоавтономные решения, например, на базе трибоэлектрических наногенераторов [10], но такие подходы скорее относятся к перспективным источникам энергии, чем к анализу потребления уже используемых электронных компонентов.

Кроме того, в публикациях по НП значительное внимание уделяется вопросам безопасности, идентификации и управления доступом [11-13]. Энергетические характеристики отдельных модулей, а также сценарии управления питанием при разных условиях эксплуатации рассматриваются значительно реже. Это показывает необходимость разработки специализированного стенда для раздельной оценки энергопотребления модулей НП.

Цель настоящего исследования заключается в разработке и испытании стенда для оценки энергопотребления модульной НП. В работе рассматриваются различные модули, микроконтроллер, а также датчик температуры и влажности. Для каждого компонента анализируется потребление в активном режиме, режиме ожидания и спящем режиме.

Научная новизна работы состоит в раздельной оценке энергопотребления функциональных модулей НП в условиях модульной архитектуры. Такой подход позволяет определить наиболее энергозатратные компоненты и использовать полученные данные для настройки алгоритмов управления питанием. Практическая значимость исследования связана с возможностью увеличения времени автономной работы устройства без изменения всей конструкции НП.

**Методы исследования**

В данном исследовании оценивалось энергопотребление отдельных модулей НП, предназначенной для контроля и мониторинга грузоперевозок. В качестве исследуемых компонентов были выбраны GSM-модуль SIM800C, GPS-модуль MAX-8Q, Bluetooth-модуль

HC-09, NFC-модуль RC522, микроконтроллер, а также датчик температуры и влажности AHT20. Основное внимание было уделено работе модулей в активном режиме, режиме ожидания и спящем режиме, поскольку именно переходы между этими состояниями в дальнейшем определяют общее энергопотребление устройства.

Для проведения испытаний был разработан лабораторный стенд. В его состав вошли датчики тока и напряжения INA219, микроконтроллер Raspberry Pi Pico, OLED-дисплей для текущего отображения параметров и флеш-накопитель для сохранения результатов измерений. Каждый модуль подключался к стенду отдельно. После подключения модуль последовательно переводился в заданные режимы работы, а стенд фиксировал значения тока и напряжения в реальном времени. Такой подход позволил оценить потребление не всей НП в целом, а каждого функционального узла по отдельности.

Испытания выполнялись в лабораторных условиях технического центра Института космической техники и технологий. Во время измерений поддерживались стабильные параметры окружающей среды, чтобы снизить влияние внешних факторов на результаты. Здесь стоит учитывать, что для маломощных электронных модулей даже небольшие изменения режима работы могут заметно влиять на потребляемый ток, поэтому измерения проводились отдельно для каждого состояния.

Полученные данные использовались для последующего анализа энергопотребления модулей и выбора более рациональных режимов работы НП. Такая методика позволяет определить, какие компоненты вносят наибольший вклад в расход энергии, и на этой основе скорректировать алгоритмы управления питанием устройства.

**Результаты**

Разработка испытательного стенда необходима для оценки энергопотребления и работоспособности отдельных модулей НП в разных режимах. На таком стенде можно проверить, как меняется потребление при передаче данных, определении координат, переходе в спящий режим и восстановлении работы после пробуждения. Эти данные нужны для настройки алгоритмов энергосбережения и выбора режимов, при которых НП сможет дольше работать автономно без потери функций контроля перевозки.

На рисунке 1 показан GSM-модуль SIM800C, используемый в составе НП для передачи данных через сеть сотового оператора. Данный модуль обеспечивает отправку информации о местоположении устройства и состоянии груза на удаленный сервер. Его работа особенно важна в активном режиме, поскольку именно передача данных через GSM-канал обычно сопровождается повышенным энергопотреблением.



Рисунок 1 – Модуль GSM SIM800C с внешней антенной и интегрированной платой управления

GSM-модуль SIM800C используется в НП для передачи данных через сеть мобильного оператора. Модуль поддерживает работу в сетях GSM/GPRS и обеспечивает отправку информации о местоположении устройства, состоянии НП и событиях, связанных с перевозкой груза.

Конструктивно модуль включает основную микросхему связи, слот для SIM-карты, антенный разъем, индикаторные светодиоды и контактные выводы для подключения к основной плате устройства. Слот для SIM-карты используется для идентификации абонента и регистрации модуля в сети оператора. Антенный разъем предназначен для подключения внешней антенны, качество которой влияет на устойчивость соединения и уровень принимаемого сигнала. Индикаторные светодиоды позволяют визуально контролировать состояние питания, регистрацию в сети и передачу данных.

Через контактные выводы модуль подключается к системе питания и управляющему контроллеру НП. По этим линиям осуществляется обмен командами и данными между GSM-модулем и основной частью устройства. Здесь стоит учитывать, что работа GSM-модуля, особенно в режиме регистрации в сети и передачи данных, обычно сопровождается повышенным потреблением тока. Поэтому при анализе энергопотребления НП данный модуль необходимо рассматривать отдельно.

На рисунке 2 показан Bluetooth-модуль HC-09, который предназначен для беспроводного обмена данными на небольших расстояниях. В составе НП он может использоваться для настройки устройства, локального считывания данных и взаимодействия с мобильным приложением или сервисным оборудованием. В отличие от GSM-модуля, Bluetooth-модуль предназначен для ближней связи и обычно работает в более энергосберегающих режимах.

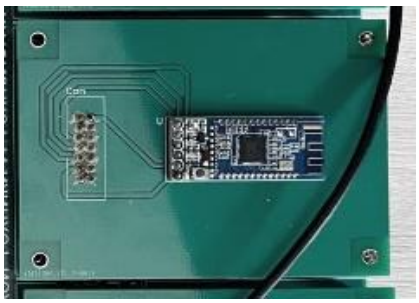


Рисунок 2 – Интегрированный Bluetooth-модуль HC-09

Bluetooth-модуль HC-09 основывается на управляющей микросхеме, поддерживающей Bluetooth-стек, что позволяет осуществлять обмен данными с внешними устройствами на коротком расстоянии. Он функционирует в диапазоне 2,4 ГГц и может использовать либо встроенную печатную антенну, либо внешний антенный элемент, в зависимости от конструкции платы. Модуль HC-09 подключается к основной плате НП через интерфейсные контакты, получает питание и обменивается управляющими командами и данными с микроконтроллером устройства.

Bluetooth-модуль в составе НП может использоваться для локальной настройки, считывания служебной информации и взаимодействия с мобильным приложением или сервисным оборудованием. В отличие от GSM-модуля, он не предназначен для передачи данных на большие расстояния, но удобен для обслуживания устройства в непосредственной близости. Важно отметить, что режим работы Bluetooth-модуля также влияет на общее энергопотребление НП, особенно если модуль постоянно находится в режиме ожидания соединения.

На рисунке 3 представлен GPS-модуль, который используется для определения координат НП. Этот модуль принимает сигналы от спутниковых навигационных систем и рассчитывает текущее местоположение устройства. Полученные координаты могут передаваться на центральный сервер через GSM-канал или использоваться для локального считывания данных. Для автономной НП работа GPS-модуля требует отдельного анализа, поскольку поиск спутников, первичная фиксация координат и периодическое обновление местоположения могут существенно влиять на расход энергии.



Рисунок 3 – GPS-модуль с внешней антенной

Основным компонентом GPS-модуля является приемник спутниковых навигационных сигналов, который предназначен для определения координат НП. В зависимости от конструкции, модуль может поддерживать прием сигналов одной или нескольких глобальных навигационных систем. Обработка навигационных данных осуществляется встроенной микросхемой приемника, которая рассчитывает координаты, скорость и время на основе полученных спутниковых сигналов.

Для приема сигнала в модуле может использоваться встроенная керамическая антенна, которая работает в диапазоне L1 с центральной частотой около 1,575 ГГц. Эта антенна обеспечивает прием спутниковых сигналов при достаточной видимости неба. В некоторых вариантах исполнения модуль также оснащается антенным разъемом для подключения внешней антенны, что особенно полезно, когда сам модуль находится внутри корпуса устройства и условия для приема сигнала ограничены.

GPS-модуль подключается к основной плате НП через интерфейсные контакты. По этим линиям подается питание, а также передаются навигационные данные и управляющие команды между модулем и микроконтроллером устройства. В некоторых платах дополнительно применяется схема стабилизации питания, что обеспечивает более стабильную работу модуля при изменении входного напряжения.

Так, в составе НП GPS-модуль отвечает за определение координат объекта. Эти данные могут сохраняться во внутренней памяти устройства, передаваться на сервер через GSM-модуль или использоваться при локальном считывании. При этом необходимо отдельно оценивать энергопотребление GPS-модуля, поскольку поиск спутников, первичное определение координат и периодическое обновление местоположения могут существенно влиять на расход заряда аккумулятора.

На рисунке 4 представлен NFC-модуль RC522, предназначенный для бесконтактной идентификации и обмена данными на малом расстоянии. Этот модуль работает на частоте 13,56 МГц и может использоваться для считывания идентификаторов, карт или меток. В системе НП NFC-модуль может применяться для обслуживания устройства, регистрации операций или локальной идентификации НП без необходимости подключения к удаленному серверу.



Рисунок 4 – NFC-модуль RC522

Центральным элементом NFC-модуля RC522 является микросхема, работающая на частоте 13,56 МГц, предназначенная для обмена данными с RFID/NFC-метками и картами. Этот модуль позволяет считывать идентификаторы и при необходимости записывать данные на поддерживаемые носители. Обмен информацией происходит на небольшом расстоянии, что удобно для локальной идентификации объектов и выполнения сервисных операций.

Антенна модуля обычно выполнена в виде печатного контура на плате и формирует электромагнитное поле, необходимое для взаимодействия с бесконтактной меткой или картой. Модуль подключается к основной плате через контактные выводы, получает питание и передает данные управляющему микроконтроллеру. В некоторых версиях плата может включать элементы стабилизации питания и светодиодный индикатор, используемый для визуального контроля состояния модуля.

В составе НП NFC-модуль может использоваться для идентификации устройства, регистрации операций обслуживания или локального считывания данных без GSM-канала. В отличие от модулей дальнего действия, он работает на коротких дистанциях и применяется эпизодически, поэтому его вклад в общее энергопотребление зависит от частоты операций считывания и режима ожидания.

На рисунке 5 показана центральная плата управления НП. Она обеспечивает подключение функциональных модулей, распределение питания и обмен данными между модулями, датчиками и управляющим микроконтроллером. Кроме того, данная плата может быть использована для реализации алгоритмов энергосбережения, включая включение и отключение отдельных модулей в зависимости от режима работы устройства.




Рисунок 5 – Основная плата управления электронной НП

Центральная плата управления объединяет функциональные модули НП в единую систему. На ней размещен микроконтроллер, который получает данные от различных модулей и подключенных датчиков. Он также управляет обменом данными между компонентами и выполняет алгоритмы энергосбережения, включая перевод отдельных модулей в режим ожидания или сна.

Разъемы и контактные площадки платы предназначены для подключения питания, аккумулятора, внешних модулей и датчиков. Если имеется слот для карты памяти, плата может использоваться для сохранения журналов работы устройства и результатов измерений. Светодиодные индикаторы обеспечивают визуальный контроль состояния питания, обмена данными и различных режимов работы. При наличии кнопок или переключателей они могут использоваться для перезагрузки устройства, ручного выбора режима или проверки отдельных функций.

Таким образом, центральная плата управления обеспечивает электрическое и логическое взаимодействие между основными узлами НП. Ее роль особенно важна при анализе энергопотребления, поскольку именно через управляющий контроллер задаются режимы работы модулей и фиксируются данные об их состоянии.

На рисунке 6 представлен сенсорный модуль, предназначенный для регистрации параметров окружающей среды. В системе НП этот модуль может использоваться для контроля температуры, влажности и других условий, влияющих на состояние груза во время перевозки. Полученные данные передаются на центральную плату управления и могут сохраняться в памяти устройства или отправляться на удаленный сервер.

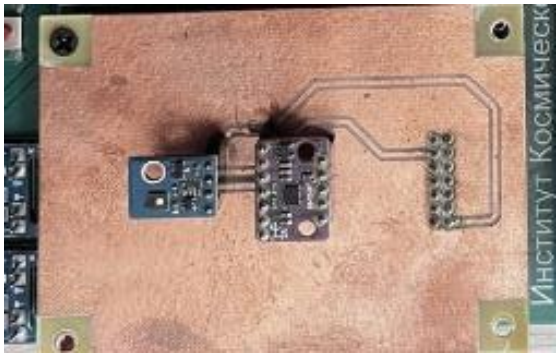


Рисунок 6 – Сенсорный модуль с двумя датчиками

Сенсорный модуль предназначен для подключения датчиков, которые регистрируют параметры окружающей среды. Плата модуля обеспечивает механическое размещение чувствительных элементов, подачу питания и передачу измеренных данных на центральный микроконтроллер. Электрическое соединение датчиков с основной системой устройства осуществляется через контактные площадки и печатные дорожки.

В зависимости от конфигурации сенсорный модуль может использоваться для измерения температуры, влажности и других параметров, необходимых для контроля условий перевозки груза. При наличии дополнительных датчиков функциональные возможности модуля могут быть расширены, позволяя регистрировать давление, освещенность, вибрацию и другие внешние воздействия. Состав измеряемых параметров определяется конкретной конфигурацией устройства.

Использование такого модуля позволяет получать данные не только о местоположении, но и о условиях, в которых находится груз. Эти сведения могут передаваться на центральную плату управления, сохраняться в памяти устройства или отправляться на удаленный сервер через модуль связи. При анализе энергопотребления сенсорный модуль следует учитывать отдельно, поскольку его вклад зависит от частоты опроса датчиков и режима их работы.

Общий расчет энергопотребления модулей рассчитывается по следующей формуле:

$$\mathrm{P}_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^{n}(U_i \cdot I_i), \quad (1)$$

где $U_i$ – напряжение питания *i*-го модуля, В; $I_i$ – ток потребления *i*-го модуля, А; n – количество модулей.

Расчет времени автономной работы устройства рассчитывается по следующей формуле:

$$t_{\text{авт}} = \frac{\mathrm{C}_{\text{акк}}}{I_{\text{ср}}}, \quad (2)$$

где $\mathrm{C}_{\text{акк}}$– емкость аккумулятора, А·ч; $I_{\text{ср}}$ – средний ток потребления устройства, А.

Расчет среднего тока потребления за цикл работы рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{акт}} \cdot t_{\text{акт}} + I_{\text{сп}} \cdot t_{\text{сп}}}{t_{\text{акт}} + t_{\text{сп}}}, \quad (3)$$

где $I_{\text{акт}}$ – ток в активном режиме, А; $t_{\text{акт}}$ – время работы в активном режиме, ч; $I_{\text{сп}}$ – ток в спящем режиме, А; $t_{\text{сп}}$ – время работы в спящем режиме, ч.

Эффективность экономии энергии при переходе в спящий режим рассчитывается по следующей формуле:

$$\mathrm{E}_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{акт}} - I_{\text{сп}}}{I_{\text{акт}}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $I_{\text{акт}}$– ток потребления в активном режиме, А; $I_{\text{сп}}$ – ток потребления в спящем режиме, А.

На рисунке 7 представлено сравнение энергопотребления модулей НП. Эти данные помогают выявить элементы, создающие наибольшую нагрузку на источник питания и требующие первоочередной оптимизации. Такой анализ необходим для выбора режимов работы модулей, настройки алгоритмов энергосбережения и увеличения времени автономной работы устройства.

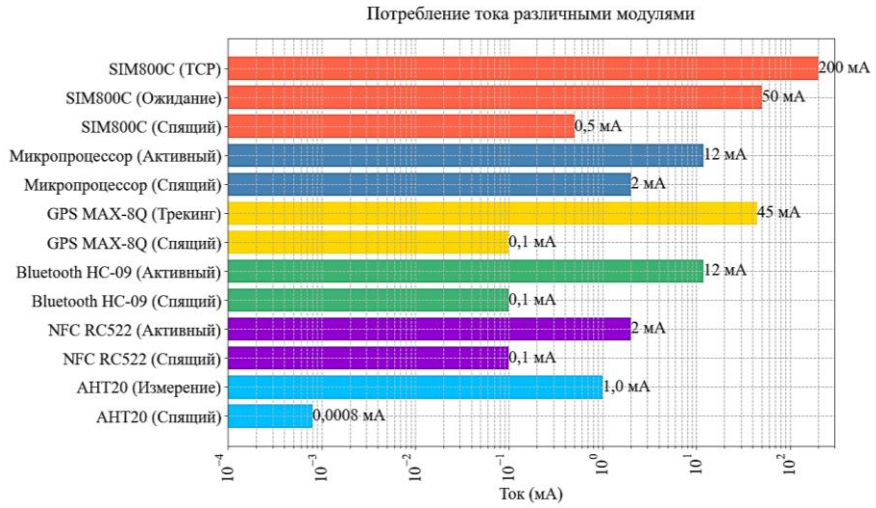



Рисунок 7 – Сравнительный анализ потребления тока в модулях электронной НП

Результаты, представленные на графике, подтверждают необходимость раздельной оценки энергопотребления модулей НП. Наибольший расход энергии фиксируется в активных режимах работы, особенно во время передачи данных и определения координат. Поэтому при разработке алгоритмов управления питанием важно предусмотреть автоматический переход неиспользуемых модулей в режим ожидания или сна, а также адаптировать частоту их включения в зависимости от условий эксплуатации.

Снижение энергопотребления способствует увеличению времени автономной работы электронной НП и уменьшает потребность в частом обслуживании устройства. Это особенно актуально для длительных маршрутов, участков с ограниченным доступом к оборудованию и перевозок, где замена или подзарядка источника питания затруднена.

**Обсуждение**

В ходе испытаний на разработанном стенде было определено энергопотребление НП в 2-х режимах работы: активном и спящем. В активном режиме, когда одновременно задействованы основные функциональные модули, потребляемый ток составил около 272 мА. В спящем режиме ток снизился до 2,8 мА, что показывает существенную разницу между рабочим и энергосберегающим состояниями устройства.

Оценка автономной работы показала, что при кратковременной активации каждые 15 минут с последующим переходом в спящий режим НП может функционировать от аккумулятора емкостью 3500 мА·ч до 16,6 суток. При этом фактическое время работы зависит от длительности активной фазы, качества связи, времени поиска координат и частоты передачи данных.

Результаты испытаний подтвердили, что разработанный стенд позволяет фиксировать ток и напряжение в различных режимах работы, а также получать данные для дальнейшей настройки алгоритмов управления питанием. Система записи данных упрощает последующий анализ и позволяет выявлять отклонения в работе отдельных модулей. Полученные результаты могут быть использованы для выбора режимов включения различных модулей и датчиков, а также для настройки перехода устройства в режим ожидания или сна.

Модульный подход к конструкции НП, в отличие от традиционной интегрированной схемы, позволяет отдельно управлять функциональными узлами, заменять отдельные компоненты и адаптировать устройство под различные условия эксплуатации. Хотя сам по себе этот подход не снижает энергопотребление, он создает основу для более гибкого управления питанием. За счет отключения неиспользуемых модулей, изменения частоты опроса датчиков и регулирования периодичности передачи данных можно увеличить время автономной работы и повысить ремонтопригодность устройства.

Конструкция и функциональные особенности разрабатываемой НП ранее были рассмотрены в работах [14, 15].

**Заключение**

Результаты испытаний показали, что переход устройства в спящий режим существенно снижает потребляемый ток: с 272 мА в активном режиме до 2,8 мА в спящем режиме. При кратковременной активации каждые 15 минут это позволяет увеличить расчетное время автономной работы НП до 16,6 суток при использовании аккумулятора емкостью 3500 мА·ч. На практике фактическое время работы будет зависеть от длительности активной фазы, качества GSM-связи, времени определения координат и частоты передачи данных.

Полученные данные могут быть использованы для дальнейшей настройки алгоритмов управления питанием. В первую очередь целесообразно оптимизировать режимы работы GSM и GPS-модулей, так как именно они обычно создают основную нагрузку на источник питания. Также перспективным направлением является разработка диагностического режима, который позволит выявлять отклонения в энергопотреблении отдельных модулей и фиксировать такие события в журнале устройства.

Таким образом, разработанный стенд позволяет не только измерять энергопотребление модулей НП, но и получать исходные данные для настройки энергосберегающих режимов. Это может повысить время автономной работы устройства и упростить его последующее обслуживание в условиях длительной эксплуатации.

**Список литературы**

1. Design and implementation of a smart container monitoring system / J. Liu et al // Sensors. – 2018. – Vol. 18.
2. Fang Y. An intelligent container security system based on WSN and RFID / Y. Fang, T. Huang, F. Wang // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 76534-76542.
3. Zhang Q. IoT-based sealing device for supply chain logistics / Q. Zhang, Y. Sun, L. Chen // Sensors. – 2019. – Vol. 19. – P. 20-31.
4. Kim S. A power-efficient GPS tracking system for logistics / S. Kim, D. Lee, J. Park // IEEE Sensors Journal. – 2020. – Vol. 20. – P. 6652-6660.
5. Lee H. Smart tamper-proof seal with embedded IoT sensors / H. Lee, Y. Kim, S. Han // IEEE Internet of Things Journal. – 2019. – Vol. 6. – P. 5898-5905.
6. Cheng H. Design of a wireless container seal monitoring system / H. Cheng, F. Zhou, M. Wu // Sensors. – 2021. – Vol. 21. – Art. 1521.
7. Martinez M. Performance evaluation of container tracking devices in harsh environments / M. Martinez, R. Gomez, J. Lopez // Wireless Networks. – 2022. – Vol. 28. – P. 2547-2562.
8. Singh R. Low-cost GPS tracker with tamper alert for logistics / R. Singh, M. Kumar, P. Bhatia // Journal of Sensors. – 2019. – Vol. 2019. – Art. 6935816.
9. Kwon H. Secure electronic seal with blockchain logging for global logistics / H. Kwon, J. Seo, Y. Moon // Sensors. – 2021. – Vol. 21. – Art. 768.
10. Yao Q. Real-time container integrity detection using smart seals / Q. Yao, L. Chen, H. Wang // Measurement. – 2020. – Vol. 166. – Art. 108321.
11. Smart anti-theft vehicle tracking system for Bangladesh based on Internet of Things / M.S. Uddin et al // Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), Dhaka, Bangladesh, 28-30 September 2017. – IEEE, 2017. – P. 624-628. https://doi.org/10.1109/ICAEE.2017.8255432.
12. ID-based secure real-time tracking system / C.Y. Yeun et al // International Journal of Advanced Logistics. – 2015. – Vol. 4, № 2. – P. 100-114. https://doi.org/10.1080/2287108X.2015.1049684.
13. Securing E-Seal real-time tracking system for Internet of Things / M.A.B. Shemaili et al // Proceedings of the 8th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST 2013). – IEEE Computer Society, 2013. – P. 65-69. https://doi.org/10.1109/ICITST.2013.6750163.
14. Development of an intelligent navigation seal for safe and efficient logistics / A.Z. Aitmagambetov et al // International Journal of Information and Communication Technologies. – 2025. – Vol. 6, № 1. – P. 170-184. https://doi.org/10.54309/IJICT.2025.21.1.012.
15. Development of a navigation seal for tracking transportation within the EAEU / A.Z. Aitmagambetov et al // Vestnik KazATC. – 2025. – № 2(69). – P. 111-121. https://doi.org/10.51775/2790-0886_2025_69_2_111.

***Благодарность***

*Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках конкурса на программно-целевое финансирование по научным, научно-техническим программам на 2024-2026 годы, ИРН программы BR24992884 «Разработка опытного образца электронного идентификатора с целью дальнейшей организации их производства».*

**А.С. Инчин[1], А.З. Айтмагамбетов[1,2], А.Е. Кулакаева[2*], С.Ж. Жұмағали[1], У.К. Уали[1]**

[1]ЖШС «Ғарыштық техника және технологиялар институты»
050061, Қазақстан Республикасы, Алматы қ, Кисловодская көшесі, 34
[2]«Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті» АҚ
050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Манас 34/1 көшесі
*e-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz

**НАВИГАЦИЯЛЫҚ ПЛОМБА МОДУЛЬДЕРІНІҢ ЭНЕРГИЯ ТҰТЫНУЫН БАҒАЛАУ**

*Мақалада жүк тасымалын бақылау жүйелерінде қолданылатын модульдік навигациялық пломбаның энергия тұтынуы зерттелді. Автономды жұмыс уақытының шектеулі болуы жүктің сенімді бақылануына әсер ететін маңызды пайдалану факторларының бірі болып табылады.*

*Жұмыстың мақсаты – сынақ стендін әзірлеу және құрылғының жалпы энергия тұтынуына жекелеген модульдердің қосатын үлесін сандық тұрғыдан бағалау. Бұл деректер кейіннен энергиямен жабдықтауды басқару алгоритмдерін баптау үшін пайдаланылуы мүмкін.*

*Зерттеу жүргізу үшін INA219 ток және кернеу датчиктері мен Raspberry Pi Pico микроконтроллері негізінде сынақ стенді әзірленді. Стенд өлшеу нәтижелерін автоматты түрде тіркеуді және сақтауды қамтамасыз етті. Сынақ барысында SIM800C GSM-модулінің, MAX-8Q GPS-модулінің, HC-09 Bluetooth-модулінің, RC522 NFC-модулінің, негізгі микроконтроллердің және AHT20 датчигінің белсенді және ұйқы режимдеріндегі энергия тұтынуы бағаланды. Орташа ток пен 3500 мА·сағ сыйымдылықтағы аккумулятор кезіндегі автономды жұмыс уақыты құрылғының циклдік іске қосылуы мен деректерді беру режимін ескере отырып есептелді.*

*Нәтижелер белсенді режимде жиынтық тұтынылатын ток шамамен 272 мА, ал ұйқы режимінде 2,8 мА болатынын көрсетті. Құрылғы әр 15 минут сайын іске қосылған жағдайда есептік автономды жұмыс уақыты 16,6 тәулікке жетеді. Бұл энергия үнемдеу режимдерін қолданудың тиімділігін көрсетеді.*

*Әзірленген стенд навигациялық пломбаның жекелеген модульдерінің энергия тұтынуы бойынша қайталанатын және салыстырмалы түрде тұрақты өлшеу деректерін алуға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер GSM, GPS, Bluetooth, NFC-модульдері мен датчиктердің жұмыс режимдерін баптау үшін, сондай-ақ логистикалық мониторингте қолданылатын құрылғылардың энергия тиімділігін арттыру үшін пайдаланылуы мүмкін.*

***Түйін сөздер:*** *сынақ стенді, модульдік навигациялық пломбалар, логистикалық жүйелер, энергия тиімділігі, энергия тұтынуды басқару, мониторинг, бақылау.*

**A. Inchin[1], A. Aitmagambetov[1,2], A. Kulakayeva[2]*, S. Zhumagali[1], U. Uali[1]**
[1]LLP « Institute of space technique and technology»,
05006, Republic of Kazakhstan, Almaty, Kislovodskaya st., 34
[2]JSC «International Information Technologies University»,
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, 34/1 Manasa St.
*e-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz

## ASSESSMENT OF POWER CONSUMPTION OF NAVIGATION SEAL MODULES

*This paper presents a study of the power consumption of a modular navigation seal used in cargo transportation monitoring systems. Limited autonomous operating time is one of the operational factors that affects the reliability of cargo control. The aim of this work was to develop a test bench and to quantitatively evaluate the contribution of individual modules to the total power consumption of the device. The obtained data can subsequently be used to adjust power management algorithms.*

*A test bench based on INA219 current and voltage sensors and a Raspberry Pi Pico microcontroller was developed for the study. The test bench provided automatic recording and storage of measurement data. During the experiments, the power consumption of the SIM800C GSM module, MAX-8Q GPS module, HC-09 Bluetooth module, RC522 NFC module, central microcontroller, and AHT20 sensor was evaluated in active and sleep modes. The average current and autonomous operating time with a 3500 mAh battery were calculated taking into account cyclic device activation and data transmission.*

*The results showed that the total current consumption was approximately 272 mA in active mode and 2.8 mA in sleep mode. With device activation every 15 minutes, the estimated autonomous operating time reached 16.6 days, which indicates the effectiveness of the selected power-saving modes.*

*The developed test bench made it possible to obtain reproducible data on the power consumption of individual navigation seal modules. The results can be used to configure the operating modes of GSM, GPS, Bluetooth, and NFC modules, as well as sensors, and to improve the energy efficiency of devices used in logistics monitoring.*

***Key words:*** *test bench, modular navigation seals, logistics systems, energy efficiency, power management, monitoring, control.*

### Сведения об авторах

**Александр Сергеевич Инчин** – ведущий научный сотрудник, ТОО «Институт космической техники и технологий», г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: inchin.a@istt.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4799-0828.

**Алтай Зуфарович Айтмагамбетов** – к.т.н., профессор кафедры «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Международный Университет Информационных Технологий, г.Алматы, Республика Казахстан; e-mail: a.aitmagambetov@iitu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7808-5273.

**Айгуль Ергалиевна Кулакаева*** – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Радиотехника, электроника и телекоммуникации», Международный Университет Информационных Технологий, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0143-085X.

**Сабыржан Жанбулатұлы Жұмағали** – Главный инженер проекта, ТОО «Институт космической техники и технологий», г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: zhumagali.s@istt.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-5995-4377.

**Урияш Кадырбековна Уали** – Руководитель управления перспективных научно-технических разработок и коммерциализации проектов, ТОО «Институт космической техники и технологий», г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: uali.u@istt.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-7635-9874.

**Авторлар туралы мәліметтер**

**Александр Сергеевич Инчин** – жетекші ғылыми қызметкер, «Ғарыштық техника және технологиялар институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: inchin.a@istt.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4799-0828.

**Алтай Зуфарович Айтмагамбетов** – т.ғ.к, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» кафедрасының профессоры, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: a.aitmagambetov@iitu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7808-5273.

**Айгуль Ергалиевна Кулакаева*** – PhD, «Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0143-085X.

**Сабыржан Жанбулатұлы Жұмағали** – жобаның бас инженері, «Ғарыштық техника және технологиялар институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: zhumagali.s@istt.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-5995-4377.

**Урияш Қадырбекқызы Уәли** – перспективалық ғылыми-техникалық әзірлемелер және жобаларды коммерцияландыру басқармасының басшысы, «Ғарыштық техника және технологиялар институты» ЖШС, Алматы қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: uali.u@istt.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-7635-9874.

**Information about the authors**

**Alexander Sergeevich Inchin** – Leading Researcher, «Institute of space technique and technology» LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: inchin.a@istt.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4799-0828.

**Altai Zufarovich Aitmagambetov** – candidate of technical sciences, professor of the Department of «Radio Engineering, Electronics and Telecommunications», International Information Technologies University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: a.aitmagambetov@iitu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7808-5273.

**Aigul Yergaliyevna Kulakayeva*** – PhD, Associate Professor of the Department of «Radio Engineering, Electronics and Telecommunications», International Information Technologies University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: a.kulakayeva@iitu.edu.kz. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0143-085X.

**Sabyrzhan Zhanbulatuly Zhumagali** – Chief Project Engineer, Institute of Space Technique and Technology LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: zhumagali.s@istt.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0007-5995-4377.

**Uriyash Kadyrbekovna Uali** – Head of the Department of Advanced Scientific and Technical Developments and Project Commercialization, Institute of Space Technique and Technology LLP, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: uali.u@istt.kz. ORCID: https://orcid.org/0009-0005-7635-9874.

*Поступила в редакцию 01.06.2026*
*Принята к публикации 17.08.2026*