

Проектирование и оценка стоимости модуля диагностики влаги на апатит-нефелиновом месторождении

И. В. Верещагин

Санкт-Петербургский горный
университет императрицы
Екатерины II

s242862@stud.spmi.ru

С. Н. Пастернак

Санкт-Петербургский горный
университет императрицы
Екатерины II

snpaster@mail.ru

В. И. Козлова

Санкт-Петербургский
государственный
электротехнический
университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

tu1en41@yandex.ru

Аннотация. Современные информационные стенды отличаются низкой информативностью и привлекательностью. Целью данного проекта является проектирование модуля диагностики влаги в апатит-нефелиновом месторождении, который будет способен отправлять сигнал о достижении влажности в шахте до необходимого уровня при использовании водораспылительных систем. Этот модуль позволит автоматизировать процесс регулирования влажности в шахте и улучшит условия труда для рабочих, а также снизит негативное воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: микроконтроллеры, датчик, электронная схема, микроконтроллер

I. ВВЕДЕНИЕ

Современная промышленность стремится к повышению эффективности и безопасности производственных процессов. В этом контексте, месторождения апатит-нефелиновых руд, являющиеся важным источником сырья для производства удобрений и других химических продуктов, играют ключевую роль. Однако, эксплуатация подземных шахт в рамках данных месторождений сопровождается серьезными техническими и экологическими вызовами, включая распространение пыли, которая может представлять угрозу здоровью рабочих и окружающей среде. Для решения этой проблемы, применяются водораспылительные системы, которые помогают удерживать пыль в шахте. Однако, для обеспечения максимальной эффективности и минимизации потребления водных ресурсов, необходимо мониторить и регулировать влажность внутри шахты [1–3].

Актуальность данной темы обусловлена не только необходимостью обеспечения безопасности и эффективности производства на апатит-нефелиновых месторождениях, но и стремлением сократить время, требуемое на возобновление работы шахты, сократить потребление водных ресурсов и снизить воздействие производственных процессов на окружающую среду [1–4]. Модуль диагностики сможет значительно улучшить текущие методы управления пылью и водораспылительными системами, что является

актуальной задачей для многих предприятий в области добычи полезных ископаемых.

Объект исследования: Апатит-нефелиновое месторождение, включая его подземные шахты и системы водораспыления.

Предмет исследования: Модуль диагностики с датчиками, способный измерять влажность внутри шахты на апатит-нефелиновом месторождении.

Целью данного исследования является разработка модели модуля диагностики, способного автоматически отслеживать уровень влажности, вибрации и температуры внутри шахты.

Для достижения этой цели необходимо решить несколько задач:

1. Провести анализ существующих систем водораспыления и методов контроля влажности в шахтах [4–6].
2. Разработать концепцию модуля диагностики влажности с датчиками.
3. Создать прототип модуля и провести его тестирование.
4. Оценить эффективность модуля в снижении распространения пыли и оптимизации потребления воды.
5. Провести анализ экономической эффективности и экологических выгод от внедрения модуля [6].

Гипотезой исследования является предположение о том, что разработка и внедрение модуля диагностики влажности с датчиком позволит снизить время, требуемое на возобновление работы после распыления воды, повысить эффективность шахт на апатит-нефелиновом месторождении.

Методы исследования: для достижения поставленных целей и задач будут использованы следующие методы исследования: анализ литературных источников, инженерные расчеты, моделирование, создание прототипа, лабораторные эксперименты, статистический анализ данных, экономическое моделирование.

Теоретическая значимость данного исследования заключается в разработке подхода к отслеживанию влажности в шахтах, который может быть применен не только на апатит-нефелиновых месторождениях, но и в других отраслях промышленности.

Практическая значимость заключается в улучшении условий труда рабочих, снижении экологического воздействия и экономии ресурсов и времени на предприятиях добычи полезных ископаемых.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Добыча апатит-нефелина связана с рядом различных проблем, охватывающих геологические, экологические, экономические, технологические аспекты и проблемы с пылью. Рассмотрим каждый из них более подробно:

Добыча апатит-нефелина – это сложный процесс, который включает в себя несколько проблемных аспектов, связанных с геологическими, экологическими, экономическими, технологическими и пылевыми аспектами [2]. Давайте рассмотрим каждый из них подробнее:

Геологические проблемы: месторождения апатит-нефелина могут быть расположены в геологически-сложных и труднодоступных районах, что усложняет их разведку и добычу. Неравномерное распределение и концентрация руды в земной коре требует точного изучения геологических особенностей месторождения для оптимизации процесса добычи.

Экологические проблемы: добыча апатит-нефелина может привести к разрушению экосистемы в местах разработки [4]. Отходы производства могут содержать токсичные вещества, такие как тяжелые металлы или радиоактивные элементы, которые могут загрязнять воду, почву и воздух.

Экономические проблемы: высокие затраты на разведку и добычу в сочетании с переменной ценой на рынке металлов и минералов могут делать добычу апатит-нефелина невыгодной [2]. Колебания спроса на продукцию из апатит-нефелина также могут оказывать влияние на экономическую эффективность проекта.

Технологические проблемы: обработка апатит-нефелина требует применения специализированных технологий, которые могут быть дорогостоящими и сложными в реализации. Некоторые процессы добычи и обработки могут потреблять большое количество энергии, что может привести к высоким эксплуатационным затратам и негативному воздействию на окружающую среду.

Пылевые проблемы: при добыче и обработке апатит-нефелина возникает большое количество пыли, что может негативно сказываться на здоровье работников и окружающей среды. Контроль над пылевыми выбросами требует использования специализированных систем водораспыления и тщательного планирования процессов обработки [2].

Эти проблемы требуют системного подхода к решению, включая совместные усилия компаний, правительственных органов и экологических

организаций для обеспечения устойчивой и ответственной добычи апатит-нефелина.

Давно известно, что воздействие вдыхаемой пыли представляет собой серьезную угрозу для здоровья работников многих отраслей промышленности. В горной промышленности чрезмерное воздействие вдыхаемой шахтной пыли может привести к заболеваниям легких, которые в самой тяжелой форме может привести к инвалидности и летальному исходу [7]. Кроме того, шахтеры могут подвергаться воздействию высокого уровня вдыхаемой кремнеземной пыли, что может вызвать силикоз – еще одно лишающее трудоспособности и смертельное заболевание легких. Воздействие шахтной пыли также повышает риск развития у шахтера хронического бронхита и хронической обструктивной болезни легких.

После развития заболевания вылечиться от силикоза невозможно. Поэтому цель состоит в том, чтобы ограничить воздействие вдыхаемой пыли на работников, чтобы предотвратить развитие этих заболеваний.

Как и в случае с любым источником пыли, воздух и вода используются для рассеивания, подавления, перенаправления или улавливания пыли. Подавление является наиболее эффективным средством борьбы с пылью. Подавление достигается путем непосредственного применения воды, обычно в точке воздействия, для смачивания руды до и во время его разрушения, чтобы предотвратить попадание пыли в воздух. Если пыль поднимается в воздух, необходимо применить другие методы борьбы с ней, чтобы рассеять ее, направить в сторону от рабочих или удалить из рабочей среды. Перенаправление пыли достигается с помощью водяных спреев, которые перемещают пыльный воздух в направлении от рабочих и в обратный вход или за обратную завесу. Улавливание пыли осуществляется либо с помощью водяных спреев, которые воздействуют на пыль в воздухе, удаляя ее, либо с помощью механических пылеуловителей [9].

Существует несколько типов водяных распылителей, которые можно использовать на шахтах непрерывного действия для борьбы с пылью. Тип, расположение, форма, расход и давление форсунок - все эти факторы необходимо учитывать при проектировании системы распыления. Тип распылителя, используемого в конкретном месте, зависит от требуемого применения [9]. Например, для подавления пыли наиболее эффективен высокий расход при низком давлении вблизи источника. Для улавливания пыли в воздухе требуются более мелкие высокоскоростные капли для столкновения с пылью и ее удаления из воздуха. Для перенаправления требуется более высокое давление.

III. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА

Создание структурированной и монтажной схемы прототипа. Именно тут начинается создание самого устройства. Монтажная схема устройства представлена на рис. 1 [3].

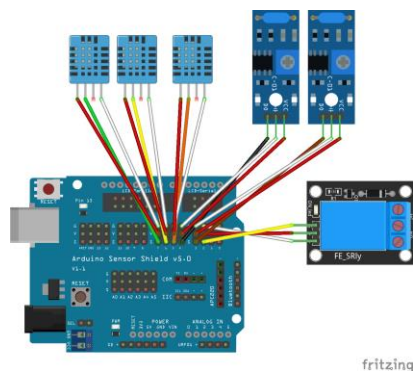


Рис. 1. Монтажная схема устройства

Перед тем, как приступить к сборке необходимо убедиться в корректной работе схемы. Для этой цели было использовано программное обеспечение Fritzing. Fritzing — это свободно распространяемое ПО с открытым исходным кодом, разработанное для создания схем и проектирования электронных устройств. Его разработка была вдохновлена языком программирования Processing и платформой Arduino. Эта программа позволяет преобразовать прототипы, созданные на базе Arduino, в макеты печатных плат для последующего изготовления [1, 10, 11]. В итоге, были проведены моделирование и проверка работоспособности схемы проекта в Fritzing до реальной сборки.

Как показано на схеме, к плате была подключена плата расширения, а затем каждый элемент подключен в свой порт тремя проводами: сигнал, питание и земля.

В данном разделе описана поэтапная сборка, доработка, подключение устройства.

Сначала к плате были подключены все датчики с помощью проводов, как показано на рис. 2.

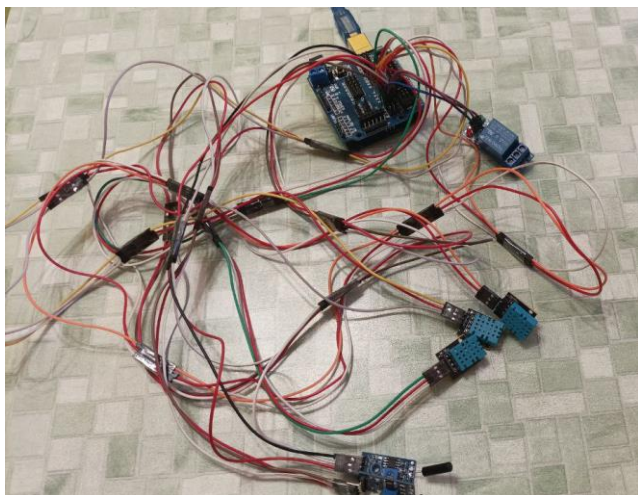


Рис. 2. Плата с датчиками

Затем, как показано на рисунке 3, в трубу, имитирующую шахту, были помещены датчики влажности и температуры [12].



Рис. 3. Датчики помещены внутри трубы

Далее, на рис. 4, реле вместе с увлажнителем были подключены к плате.

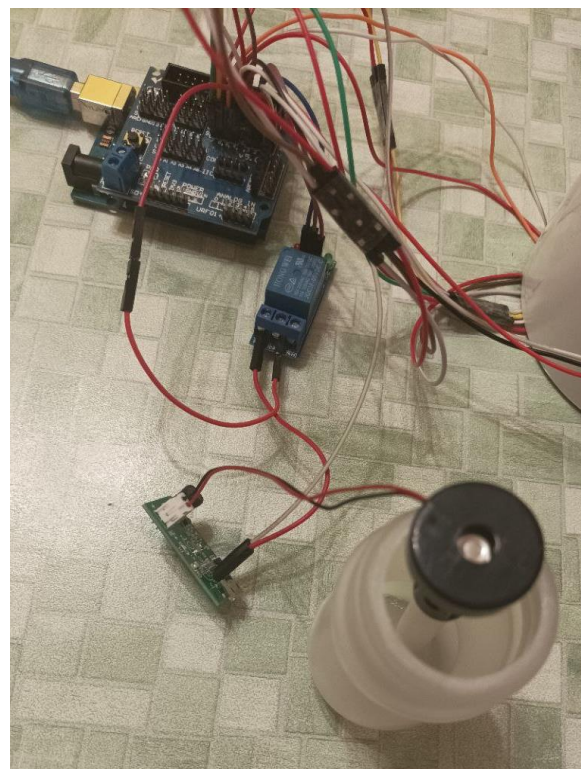


Рис. 4. Подключенные реле и увлажнитель к плате

Вид готового устройства представлен на рис. 5.

Собранное устройство подключено согласно схеме. Принцип работы заключается в том, что при имитации тряски трубы, с датчика вибрации, подается сигнал на микроконтроллер и активируется оросительная система с помощью увлажнителя воздуха, для реализации системы способной осадить пыль в шахтах апатит-нефелиновых месторождений. При всем этом данные с датчиков влажности поступают в мониторинг порта для контроля уровня влажности.



Рис. 5. Вид готового устройства

В данном пункте отображена программная часть устройства.

Задачей программы является мониторинг данных с датчиков и включение системы распыления, когда активируются датчики вибрации. В то же время на последовательный порт выводятся данные о работе датчиков и системы распыления [13].

Для начала, с помощью команды, представленной снизу, была добавлена библиотека DHT для работы с датчиками влажности и температуры.

```
#include "DHT.h"
```

Это позволит упростить процесс написания скетча, так как в библиотеке уже представлены команды и функции для работы с датчиками DHT11 [14–16].

Далее, в скетче начинается основная часть, в которой сначала производится считывание влажности и температуры, а затем вывод данных в последовательный порт. Затем была написана функция, которая при наличии вибрации включает систему распыления и выводит в серийный порт состояние датчиков вибрации и реле. Данные на выходе в последовательный порт показаны на рисунке 6.

Возможные улучшения проекта. В будущем, для улучшения проекта можно заменить датчики вибрации на более чувствительные, а также написать программу для удобного отображения выходных данных.

Выводы по специальной части: был произведен анализ микроконтроллеров Arduino, подобраны компоненты для устройства и была произведена его проектировка и сборка, а также написана программа, управляющая работой устройства.

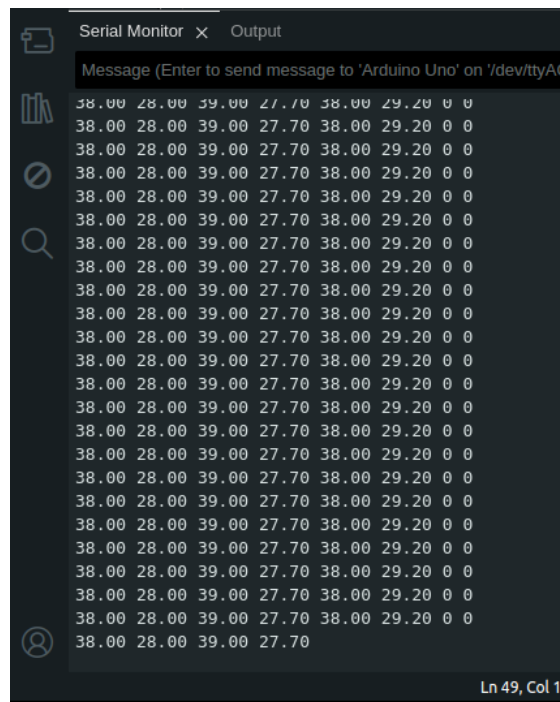


Рис. 6. Вывод последовательного порта

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Апатит-нефелиновые месторождения играют важную роль в промышленности и сельском хозяйстве благодаря своим уникальным химическим и физическим свойствам. Апатит является важным источником фосфора, необходимого для производства фосфатных удобрений, используемых для улучшения почвы и повышения урожайности. Нефелин, в свою очередь, ценен в стекольной и керамической промышленности благодаря своему содержанию алюминия и щелочей. Таким образом, добыча апатит-нефелиновых руд имеет значительное экономическое значение и вносит весомый вклад в развитие аграрного и промышленного секторов.

Однако добыча апатит-нефелиновых руд сопряжена с рядом экологических проблем, среди которых выделяется проблема пыления. Пыление происходит в процессе добычи, транспортировки и переработки руды, что приводит к загрязнению окружающей среды и негативному влиянию на здоровье работников и местных жителей. Пыль, содержащая мелкие частицы апатита и нефелина, может вызывать респираторные заболевания, снижать качество воздуха и способствовать деградации почв и водоемов.

Одним из эффективных методов борьбы с пылевым загрязнением является система распыления воды. Эта система предполагает использование воды для связывания и осаждения пыли, образующейся при добыче и переработке руды. Распыление воды позволяет существенно снизить концентрацию пыли в воздухе, улучшить условия труда на производстве и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Система распыления воды может быть автоматизирована и интегрирована в производственные процессы, что обеспечивает её высокую эффективность и экономическую целесообразность.

В рамках исследования и разработки модуля диагностики апатит-нефелиновых месторождений был произведен тщательный выбор компонентов для работы системы. При выборе компонентов учитывались такие факторы, как надежность, совместимость и экономическая эффективность [17]. Были выбраны датчики для мониторинга влажности, температуры и вибрации, увлажнитель для распыления воды и управляющий контроллер, который координирует работу всех элементов системы.

Проектирование и сборка устройства проводились в два этапа. На первом этапе были выбраны датчики и другие компоненты. На втором этапе проводилось проектирование схем и сборка устройства.

Особое внимание было уделено написанию программного обеспечения для работы устройства. Программа предназначена для управления работой всех компонентов системы, сбора и обработки данных с датчиков, а также вывода информации для пользователя в последовательный порт. Это позволяет оперативно контролировать работу системы, получать данные о концентрации пыли и уровне воды, а также своевременно реагировать на изменения в производственном процессе.

Произведен расчет производственной себестоимости работы с учетом времени, затраченного на исследование, разработку и сборку комплекса. Таким образом общие затраты на ЗП и оборудование составляет 14 304,63 рублей, а стоимость устройства составляет 2 101,00 рублей [18,19]. Также описана техника безопасности эксплуатации устройства.

Таким образом, проведенные исследования и разработки позволили создать эффективный модуль диагностики апатит-нефелиновых месторождений, который решает проблему пыления с помощью системы распыления воды. Выбор компонентов, проектирование, сборка устройства и написание программного обеспечения обеспечили высокую функциональность и надежность системы, что способствует улучшению экологической обстановки и условий труда в местах добычи и переработки апатит-нефелиновых руд.

REFERENCES

- [1] Sidorenko S., Trushnikov V., Sidorenko A. Methane Emission Estimation Tools as a Basis for Sustainable Underground Mining of Gas-Bearing Coal Seams. *Sustainability* 2024, 16, 3457. <https://doi.org/10.3390/su16083457>
- [2] Marinina O., Malikov A., Lyubek Y., Pasternak S., Reshneva E., Stolbovskaya, N. Selection of Enhanced Oil Recovery Method on the Basis of Clustering Wells. *Processes* 2024, 12, 2082. <https://doi.org/10.3390/pr12102082>. - EDN YJIDZA.
- [3] Ilyushin Y.V., Nosova V.A. Methodology to Increase the Efficiency of the Mineral Water Extraction Process. *Water* 2024, 16, 1329. <https://doi.org/10.3390/w16101329>.
- [4] M.-A. M. Asadulagi, M.S. Fedorov and V.E. Trushnikov, "Control Methods of Mineral Water Wells," 2023 V International Conference on Control in Technical Systems (CTS), Saint Petersburg, Russian Federation, 2023, pp. 152-155. <https://doi.org/10.1109/CTS59431.2023.10288866>.
- [5] Martirosyan A.V., Martirosyan K.V., Grudyaeva E.K., Chernyshev A.B. "Calculation of the Temperature Maximum Value Access Time at the Observation Point." 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), St. Petersburg, Moscow, Russia, 2021, pp. 1014-1018, doi: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396287.
- [6] Sidorenko A.A., Dmitriev P.N., Alekseev V.Y., Sidorenko S.A. Improvement of technological schemes of mining of coal seams prone to spontaneous combustion and rock bumps // *Journal of Mining Institute*. 2023. Vol. 264. p. 949-961. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.37>
- [7] Andreeva E.S., Marinina O.A., Turovskaya L.G. Nanofluid flooding as a method of enhancing oil recovery: mechanism, advantages. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*, 2024, 335(6), p. 189–202 DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4408
- [8] Shipachev A., Fetisov V., Nazyrov A., Donghee L., Khamrakulov A. Study of the Pipeline in Emergency Operation and Assessing the Magnitude of the Gas Leak. *Energies* 2022, 15(14), 5294. DOI: 10.3390/en15145294
- [9] Pershin I.M., Kukharova T.V., Tsapleva V.V. Designing of distributed systems of hydroolithosphere processes parameters control for the efficient extraction of hydromineral raw materials. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, 1728(1), 012017. DOI 10.1088/1742-6596/1728/1/012017
- [10] Golovina E.I., Karennik K.S. Modern trends in the field of solving transboundary problems in groundwater extraction, *Resources*, 2021, 10(10), 107 p. <https://doi.org/10.3390/resources10100107>
- [11] Ilyushin Y.V. and Nosova V.A. (2025). Development of Mathematical Model for Forecasting the Production Rate. *International Journal of Engineering*, 38(8), 1749-1757. <https://doi.org/10.5829/ije.2025.38.08b.02>
- [12] A.V. Martirosyan, K.V. Martirosyan and A.B. Chernyshev, "Calculation of the First Switch-on Time of Distributed Object's Control Action," 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), St. Petersburg and Moscow, Russia, 2020, pp. 750-754, doi: 10.1109/ElConRus49466.2020.9039348
- [13] Afanaseva O.V., Putilo S.Y., Chirtsov V.V., Demidov A.A. Simulation of the work of structural units of industrial enterprises using the theory of queuing systems. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 2024, 22(1), 115–126. https://www.ajme.ro/PDF_AJME_2024_1/L13.pdf
- [14] Ereemeeva A.M., Ilyushin Y.V. Automation of the control system for drying grain crops of the technological process for obtaining biodiesel fuels. *Scientific Reports*. 13, 14956 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598023419620>
- [15] Kotov D.D., Pervukhin D.A., Davardoos, H., Afanasyeva O.V. Prospects for the Use of Autonomous Underwater Vehicles (AUV) to Solve the Problems of the Mineral Resources Complex (MRC) of the Russian Federation. *Journal of Maritime Research*, 2024, 21(1), 309–317.
- [16] Kukharova T.V., Utkin V.A., Pershin I.M. Modeling of a Decision Support System for a Psychiatrist Based on the Dynamics of Electrical Conductivity Parameters. *Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021*, 2021, pp. 975–978, 9396273. DOI: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396273
- [17] Nechitailo A.R., Marinina O.A. Analysis of technological directions of electrification of hydrocarbon production facilities in poorly developed territories. *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poryadka [The North and the Market: Forming the Economic Order]*, 2022, no. 2, pp. 45–57. doi: 10.37614/2220-802X.2.2022.76.004
- [18] Pasternak S., Berkaeva A., Kutsuri G., Maruashvil A. Risks in entrepreneurial activity of enterprises. *Reliability: Theory & Applications*. 2024. Vol. 19, No. S6(81). P. 968-973. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2024-681-968-973>. EDN LTBOVQ.
- [19] Livanova R., Pasternak S., Mamrukova O. [et al.] Economic and legal aspects of budgetary sphere formation. *Revista Juridica*. 2024. Vol. 3, No. 79. P. 652-660. <https://doi.org/10.26668/revistajur.2316-753X.v3i79.7520>. – EDN BVBDRE.