

РАЗРАБОТКА ОСВЕТИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО МИКРОСКОПА С ЗАДАННЫМ ДИАПАЗОНОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЯРКОСТИ

Гейс О.Ю.¹, Филипас А.А.²

¹ Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, студент гр. 8ТМ22, e-mail: oyg2@tpu.ru

² Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, к.т.н., заведующий кафедрой – руководитель отделения автоматизации и робототехники на правах кафедры, e-mail: filipas@tpu.ru

Аннотация

Разработан программно-аппаратный модуль осветительного устройства с изменяющейся цветовой температурой подсветки предметного столика прямого оптического микроскопа к существующему комплексу автоматизации позиционирования предметного столика и измерительного канала оптического прямого тринокулярного микроскопа с цифровой камерой, программным обеспечением для управления процессом позиционирования (для решения задач автоматического определения дисперсного состава водонефтяных эмульсий (ВНЭ), количественного и качественного определения физических параметров глобул нефти ВНЭ) [1-5].

Ключевые слова: осветительный прибор (устройство), цветовая температура, оптический прямой микроскоп, автоматизация предметного столика, водонефтяная эмульсия, программное обеспечение, печатная плата.

Введение

Нефтеперерабатывающая и нефтедобывающая промышленности столкнулись с крупными проблемами в 2022 году. Доля отечественного оборудования и технологий в нефтеперерабатывающей промышленности невысока, поэтому данная отрасль болезненно восприняла введенные санкции. Только за 2021 год страны Европы поставили оборудования для переработки нефти на сумму более 1 млрд евро [6].

Также наблюдается отставание Российской Федерации в научно-исследовательской области [7]. По данным [7], можно судить об отставании российской науки от передовых стран с развитой научной средой. Особое внимание необходимо уделять развитию собственной нефтехимической промышленности, которая позволит переработать высвободившиеся объемы нефти. Это позволит увеличить доходы ВИНК за счет реализации более высокотехнологичной, а следовательно, и более маржинальной продукции.

Поскольку речь идет о повышении технологичности производства, проблема получения достоверной информации о физических и химических параметрах скважинной жидкости и ВНЭ стоит особенно остро в области нефтехимических исследований в научно-исследовательских проектных институтах нефти и газа, институтах, непосредственно организованных на базе ВИНК, а также в лабораториях нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) и мобильных станциях на промыслах. На сегодняшний день нет достаточно точной установки, способной с помощью метода микроскопии определить такие физические параметры, как форма, эффективный диаметр или собственная частота колебания средней капли в пробе дисперсной фазы ВНЭ. Тем более, что погрешность измерения этих параметров увеличивается с ростом вязкости дисперсной фазы.

Моторизационные системы оптических микроскопов – очевидное решение проблемы повышения эффективности работы с определением физических параметров дисперсной фазы. Однако, на рынке уже существуют схожие системы, тем более – во множестве вариаций (как конструктивных, так и программных особенностей), при этом как зарубежного, так и отечественного производства, обладают своими преимуществами и недостатками.

В тексте работы [4] рассматривается метод цифровой фотографии процесса разложения водонефтяной эмульсии «в профиль» резервуара с жидкостью. В данной же работе за основу берется другой метод – метод оптической микроскопии (взгляд камеры направлен «сверху вниз»), описывается разработка печатной платы для светодиодов с различной цветовой температурой для комплексной моторизационной системы, написан код функции управления платой в связке с уже существующей

платой на базе промышленного микроконтроллера STM32, собран демонстрационный стенд и проведены первые исследования корректности работы исполнительного кода программы и платы, установлена точность смещения потока света от «теплого» и «холодного» источников в диапазоне цветовой температуры от 3000K до 6500K.

Описание модуля осветителя

Светоизлучающий диод (LED) – полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении. Используются в технических системах и приборах, включая освещение, передачу сигналов по оптоволоконным линиям связи, в пультах дистанционного управления и пр. В прямых оптических микроскопах светодиоды могут использоваться в качестве источников освещения, устанавливаемых в качестве осветительной системы, обеспечивая яркое и равномерное освещение полупрозрачных образцов исследования для получения четких и детализированных изображений при фотографировании и дальнейшей обработки микрофотографий.

При выборе светодиода для использования в прямом оптическом микроскопе следует учитывать такие технические характеристики как световая отдача (современные светодиоды могут достигать высокой световой отдачи, сравнимой с натриевыми газоразрядными лампами и металлогалогенными лампами, достигая 146 лм/Вт), цветовая температура (Современные белые светодиоды могут иметь различные цветовые температуры, от тёплого белого (~2700 K) до холодного белого (~6500 K), что важно для корректного восприятия цветов образца), спектральная чистота (светодиоды могут обеспечивать высокую спектральную чистоту, что важно для точного анализа спектральных характеристик образца), угол излучения (различный угол излучения светодиодов может варьироваться от 15 до 180 угловых градусов, что позволяет оптимизировать освещение для различных типов образцов), энергоэффективность (светодиоды обладают высокой энергоэффективностью, что делает их привлекательным выбором для использования в оптических микроскопах), безопасность и экологичность (светодиоды не требуют высоких напряжений и обычно не превышают 60 °С при должном охлаждении, что обеспечивает безопасность их использования. Кроме того, они не содержат ртути, фосфора и ультрафиолетового излучения, что делает их более экологичными по сравнению с некоторыми другими источниками света).

При выборе светодиода для оптического микроскопа важно также учитывать его механическую прочность, вибростойкость, срок службы и способ подключения к источнику питания, чтобы обеспечить надежную и безопасную работу осветительной системы микроскопа [8-9].

При проектировании печатной платы были подобраны не отдельные светодиоды различной цветовой температуры, а сразу блок из 2-х светодиодов, имеющие цветовую температуру 3000K и 6500K. Данный выбор, в первую очередь, обоснован малыми габаритными размерами проектируемой платы, поскольку посадочные места платы невелики (28x28 мм). Также использование блоков по 2 диода обеспечивает более компактное расположение светодиодов, что объясняется необходимостью их радиального расположения относительно оптической оси, проходящей через оптические центры наблюдателя (глаза исследователя или объектива цифровой камеры), микрообъектива микроскопа, ирисовой диафрагмы и рассеивателя осветительной системы.

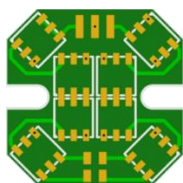


Рис. 1. Фронтальная сторона платы

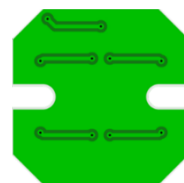


Рис. 2. Обратная сторона платы

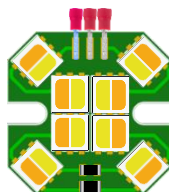


Рис. 3. Общий вид сборки платы

Управление включением и яркостью осуществляется при помощи двух N-канальных MOSFET путём подачи ШИМ сигнала от микроконтроллера на затвор MOSFET. Последний регулирует яркость того канала платы осветителя, к которому относится («тёплый» светодиод – 3000 К, либо «холодный» светодиод – 6500 К). При большем заполнении скважности ШИМ сигнала достигается большая яркость, соответственно, при меньшем заполнении – меньшая яркость. Сток каждого MOSFET, соответственно, подключен к отрицательному контакту каждого канала осветителя, а исток подключен к отрицательному контакту источника питания (0 В). Положительный контакт источника +24 В подключён непосредственно к общему положительному контакту обоих каналов осветителя.

Проектирование платы реализовано при помощи САПР Sprint Layout [10], фронтальная и обратная сторона платы изображены на рис. 1-2, общий вид – на рисунке 3. Используются резисторы типоразмера 1206 сопротивлением 1 Ом для регулирования подачи тока в цепи. Подключение светодиодов реализовано последовательно с подключением общей линии питания напряжением 24 В (один светодиод потребляет 3В, всего 8 ед., соединенных последовательно в цепи). Ток в цепи – до 40 мА (каждый светодиод по 20 мА в блоке).

Написание исполнительного кода функции для отладочной платы на базе микроконтроллера STM32 для управления платой со светодиодами с использованием таймера и ШИМ реализовано в среде программирования STM32CubeIDE на языке программирования C [11-12]. Блок-схема алгоритма работы функции приведена на рисунке 5.

При запуске функции, инициализируются следующие переменные:

- $i = 1$ – отвечает за номер элемента в векторе «command» (вектор, отвечающий за вид G-код команды);
- f_1, f_2 – это коэффициенты для «тёплых» и «холодных» светодиодов соответственно, которые выражают скважность сигналов, подаваемых на соответствующие светодиоды;
- f – это коэффициент скважности, который задаётся общей яркостью и $f_1 + f_2 = f$ (изначально равен 100 %);
- t_1, t_2 – температуры «тёплых» и «холодных» светодиодов соответственно;
- t – уставка по цветовой температуре, которую необходимо получить (изначально равна $(t_1 + t_2) / 2$);
- $ccrf_1, ccrf_2$ – значение CCR для соответствующих каналов таймера, который генерирует ШИМ-сигнал.

После инициализации переменных следует проверка первого элемента вектора «command» на наличие буквы «S», после чего идёт проверка на «1» или «0» (1 – включить генерацию ШИМ, 2 – выключить генерацию ШИМ).

Далее, проверяется, какая буква стоит во втором элементе вектора: «B» или «T» («B» – яркость от 0 % до 100 %; T – температура в К (от t_1 до t_2)).

Следующая проверка идентична предыдущей. Сделано это для того, чтобы можно было передать в команде в любом порядке температуру и яркость, а также только один из данных параметров.

После всех проверок коэффициент f делится на 100 для того, чтобы его значение было равно от 0 до 1 (перевод процентов в доли).

Далее, проверяется, равна ли необходимая температура (переменная t) одному из крайних значений (t_1 и t_2). Если да, то один из коэффициентов f_1 и f_2 становится равным 0, а другой – f , в зависимости от значения t ($t = t_1$ или $t = t_2$).

Если же температура равна иному значению, то идёт проверка: значение меньше или больше среднего значения t .

Если меньше или равно, то

$$f_2 = \frac{f}{\frac{t_2 - t_1}{t - t_1} + 1}, f_1 = f - f_2.$$

Если же больше, то

$$f_1 = \frac{f}{\frac{t - t_1}{t_2 - t_1} + 1}, f_2 = f - f_1.$$

После расчёта f_1 и f_2 , идёт расчёт $ccrf_1$ и $ccrf_2$, которые равны: $ccrf_1 = 65535 \cdot f_1$, $ccrf_2 = 65535 \cdot f_2$, так как максимальным значением CCR для обоих каналов таймера выставлен 65535. В итоге, значения $ccrf_1$ и $ccrf_2$ вносятся в регистры CCR соответствующих каналов таймера (1 и 3).

Общий вид команды, подаваемой через последовательный COM-порт, представляет собой следующее [13]: M355 (тип команды «Управление подсветкой»), S1 (или S0) (состояние вкл./выкл. подсветки), B[%] (значение яркости подсветки в процентах), T[K] (значение цветовой температуры подсветки в Кельвинах).

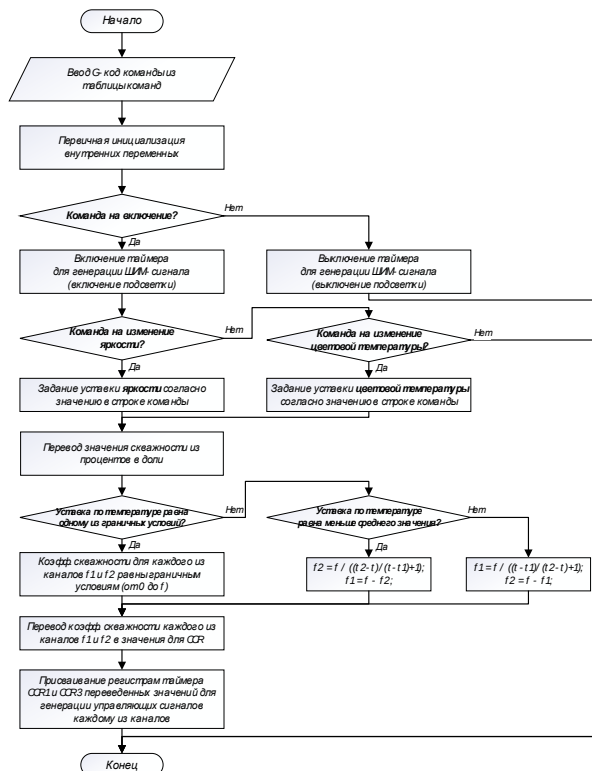


Рис. 4. Блок-схема алгоритма работы функции управления платой со светодиодами для осветительной системы микроскопа

Таким образом, написанный исполнительный код функции выполняет заявленные к нему требования – управление в 2-х канальном режиме сразу серией светодиодов на плате. Более того, рассматриваются также и срединные значения цветовой температуры в рабочем диапазоне.

Для того, чтобы точно убедиться в том, что исполнительный код написанной функции управления яркостью светодиодов на плате работает корректно и генерирует ШИМ-сигналы в различных каналах для различных светодиодов по их цветовой температуре, соберем простейший демонстрационный экспериментальный стенд, состоящий из блока питания 24 В, отладочной платы на базе микроконтроллера STM32, платы осветителя микроскопа с рассеивателем, ПК с установленным приложением для подачи последовательных G-код команд и логического анализатора для снятия показаний с выводов ШИМ (в качестве достоверности полученных результатов). Общий вид экспериментальной установки изображен на рисунке 5.



Рис. 5. Общий вид экспериментальной установки

Исследование содержит 4 опыта. Каждый из опытов отличается подаваемыми на каналы ШИМ-сигналами, а точнее, скважностью таких сигналов. Поскольку предполагается, что одновременная работа 2-х каналов при разной скважности сигнала ШИМ будет давать смещение световых потоков разных светодиодов по их цветовой температуре, то необходимо убедиться, что соотношение скважностей этих каналов будет отличаться от опыта к опыту. Действительно, как показано на рисунке 6, скважности каналов различны, при этом при граничных условиях (то есть, при уставке $t = 3000$ К или $t = 6500$ К), работает исключительно 1 канал из 2-х. Это объясняется тем, что для достижение необходимой температуры в граничных уставках лишает необходимости работы 2 канала (при уставке $t = 3000$ К работает только 2 канал управления «теплыми» светодиодами, и наоборот, при уставке $t = 6500$ К работает только 1 канал управления «холодными» светодиодами). В промежуточных значениях происходит то самое наложение световых потоков в результате работы сразу 2-х каналов. Однако заметим, что при уставке $t = 4000$ К, скважность 1 канала $\gamma_1 = 6,66\%$, а 2 канала $\gamma_2 = 13,33\%$. Это связано с условиями, заложенными в программе – при увеличении скважности на любом канале, будет снижаться «влияние» другого канала, и его «вклад» в общую цветовую температуру будет снижен (в частности, при увеличении уставки по цветовой температуре t). Это хорошо заметно на опыте № 2 и опыте № 3.

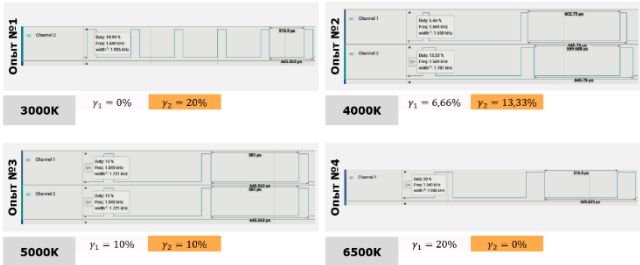


Рис. 6. Генерация ШИМ-сигналов управления яркостью и цветовой температуры осветительной системы микроскопа

Далее, необходимо убедиться в правильности работы платы со светодиодами и корректности выдаваемой цветовой температуры. На рисунке 7 показаны результаты аналогичных рис. 6 опытов включения платы при различной уставке t . Анализ содержит в себе теоретические данные из таблицы перевода значения цветовой температуры в пространство цветовой модели RGB [14], а также полученные экспериментально данные о среднем значении температуры в ходе опытов. Можем заметить, что погрешность измерений составила от 2,5 % до 4,62 %, что довольно много. Стоит сделать оговорку: для получения экспериментальных данных были использованы неточные инструменты обработки данных с фото; возможны ошибки при фотофиксации эксперимента; присутствие человеческого фактора. Однако, если использовать спектрометр и измерит цветовую температуру платы осветителя микроскопа, то значения должны получиться с погрешностью менее 1 %.

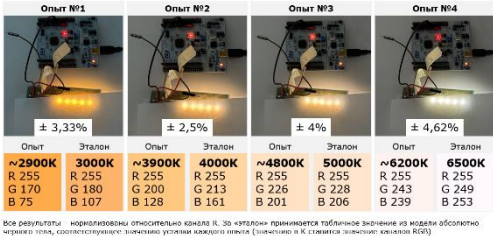


Рис. 7. Анализ экспериментальных данных, снятых в результате серии опытов при различной уставке цветовой температуры t

Из проведенных испытаний видно, что концепция использования платы с множеством светодиодов разной цветовой температуры, жизнеспособна и показывает (на первых этапах) неплохой результат.

Заключение

В результате работы был спроектирован и собран демонстрационный стенд физического подобия автоматизированного микроскопа с осветительным устройством, позволяющее динамически изменять цветовую температуру при изменении яркости различных каналов путем генерации ШИМ-сигналов различной скважности. Разработана функция управления платой осветителя со светодиодами для микроконтроллера STM32, была разработана стандартизированная G-код команда для управления M355, реализована генерация ШИМ-сигнала управления яркостью подсветки через 2-х канальное управление. При работе сразу 2-х каналов с различной скважностью ШИМ, происходит видимое наложение потока света со светодиодах различной цветовой температуры и различной яркостью свечения с рассеивателем, соответственно, что в результате дает новое значение цветовой температуры всего осветительного устройства микроскопа в диапазоне от 3000 К до 6500 К.

Список использованных источников

1. Гейс, О.Ю. Мехатронная система позиционирования предметного столика микроскопа с программным управлением для определения дисперсного состава водонефтяных эмульсий / О.Ю. Гейс, А.А. Филипас ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет // Современные проблемы машиностроения : сборник статей XVI Международной научно-технической конференции, г. Томск, 27 ноября – 1 декабря 2023 г. – Томск : Изд-во ТПУ, 2024. – С. 149-151.
2. Филипас, А.А. Разработка модели мехатронного автоматизированного предметного столика на базе серийного микроскопа с камерой / А.А. Филипас, О.Ю. Гейс // Молодежь и современные информационные технологии : Сборник трудов XX Международной научно- практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 20–22 марта 2023 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2023. – С. 380-382.
3. Гейс, О.Ю. Автоматизированная информационно-измерительная система цифровой оптической оценки состава нефтяной эмульсии / О.Ю. Гейс, А.В. Мигель // Молодежь и современные информационные технологии : Сборник трудов XIX Международной научно- практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 21–25 марта 2022 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2022. – С. 296-298.
4. Адаптивная информационно-измерительная система для мониторинга протекания физико-химического процесса / А.В. Цавнин, А.А. Филипас, А.С. Беляев, Н.В. Рожнев // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2020. – Т. 331. – № 9. – [С. 122-128]. – Заглавие с титульного листа. – [Библиогр.: – с. 128-129 (22 назв.)]. – ISSN 2413 – 1830.
5. Автоматизированная система для проведения экспресс-анализа дисперсного состава скважинной жидкости / А.А. Филипас, А.В. Мигель, Ю.Н. Исаев, В.В. Курганов // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, 22-26 марта 2021 г., г. Томск. – Томск: Изд-во ТПУ, 2021. – [С. 469-470].
6. Современные вызовы нефтегазовой отрасли // Neftegaz.ru. – URL: magazine.neftegaz.ru/articles/rynok/791570-sovremennye-vyzovy-neftegazovoy-otrasli/?ysclid=luc8kf3gi880917127 (дата обращения: 15.03.2024).
7. Нуреев Р.М. Экономические санкции против России: краткосрочные и среднесрочные последствия для нефтяной и газовой промышленности / Р.М. Нуриев, Е.Г. Бусыгин / Journal of Economics Regulation. – 2017. – № 3, Т. 8. – С. 6–22.
8. Технические характеристики и параметры светодиодов // Школа для электрика. – URL: <https://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/1944-tekhnicheskie-kharakteristiki-i.html> (дата обращения: 10.03.2024).
9. Development of “LEDs that have achieved the world’s highest-class luminous flux of more than 70,000 lm” // Expansion of the product lineup of LEDs for lighting ‘COB Series’. – URL: http://ce.citizen.co.jp/up_img/news/W2JUhsNaM3Ji/20151026_e.pdf (дата обращения: 10.03.2024).
10. Проектирование печатных плат в программе Sprint Layout 6 / М.Г. Царёв. – Ульяновск, 2016. – 97 с.: ил.
11. Микроконтроллеры STM32: основы использования таймеров, прерываний и ШИМ // Записки программиста. – URL: <https://eax.me/stm32-interrupts-timers-pwm/> (дата обращения: 10.03.2024).
12. Методы регулировки яркости для импульсных драйверов светодиодов // Диапазон. – URL: https://russianelectronics.ru/files/55533/EK3_27-29%20%D0%A0%D0%BE%D1%83%D0%B7%D0%B5%D0%BD.pdf (дата обращения: 10.03.2024).
13. M355 – Case Light Control // Marlin. – URL: <https://marlinfw.org/docs/gcode/M355.html> (дата обращения: 10.03.2024).
14. Blackbody color datafile // Vendian Systems. – URL: http://www.vendian.org/mncharity/dir3/blackbody/UnstableURLs/bbr_color.html (дата обращения: 10.03.2024).