

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ЧПУ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКИХ СРЕД

Гончарова Г.Ю., Королев И.А., Туралин Д.О.

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет), Москва*

Ключевые слова: система управления, установка, химическая модификация, лед, автоматизация, разливка, низкие температуры.

Аннотация. Автоматизация исследовательских процессов, связанных с монотонной работой по дозированному разливу жидкостей (смешивание растворов и наполнение пробирок), опрыскиванию растений, кормлению лабораторных животных может быть существенно упрощена за счет автоматизации. В связи с высокой доступностью 3D-принтеров, шаговых двигателей, микроконтроллеров к ним, блоков реле, клапанов и перистальтических насосов становится возможным создание своего лабораторного оборудования. За счет его внедрения снижается вероятность ошибок персонала и трудоемкость работ, а также улучшается воспроизводимость результатов. На примере ЧПУ станда для дозирования водных растворов и заливки ледовых образцов рассматриваются основные проблемы и нюансы создания подобного лабораторного оборудования.

A PRACTICAL APPROACH OF CREATING CNC SYSTEMS FOR AUTOMATIC DOSING OF LIQUID MEDIA

Goncharova G.Yu., Korolev I.A., Turalin D.O.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Keywords: control system, stand, chemical modification, ice, automation, casting, low temperatures.

Abstract. Automation of research processes associated with the monotonous work of dosed spilling of liquids (mixing solutions and filling test tubes), spraying plants, feeding laboratory animals can be significantly simplified through automation. Due to the high availability of 3D printers, stepper motors, microcontrollers for them, relay blocks, valves and peristaltic pumps, it becomes possible to create your own laboratory equipment. Due to its implementation, the probability of personnel errors and labor intensity of work is reduced, and the reproducibility of results is also improved. On the example of a CNC stand for dispensing aqueous solutions and pouring ice samples, the main problems and nuances of creating such laboratory equipment are considered.

В представленной статье рассматриваются различные аспекты и нюансы, возникшие при создании и наладке лабораторного станда для послойной автоматической заливки ледовых образцов из химически модифицированных водных растворов для последующих прочностных испытаний образцов на изгиб и сжатие [1]. Известно, что химическая модификация льда позволяет более чем в два раза повысить прочность льда на изгиб, снизить разрушение покрытия и эрозию почв на ледовых дорогах (автозимниках) в весенний период. Однако при замораживании концентрированных растворов возможно неравномерное распределение веществ по толщине испытываемых ледовых образцов, что обуславливает необходимость их послойного намораживания слоями от 1,5 до 3 мм. Основной задачей описываемого в представленной статье станда было автоматизированное послойное разлитие водных растворов (6 видов и

дистиллированная вода) в общую силиконовую форму, расположенную в холодильной камере с целью снижения трудоемкости проводимых авторами исследований. Работа установки должна обеспечивать равномерное послойное распределение жидкости внутри форм при температуре окружающего воздуха от минус 25°C до минус 15°C. Общий вид созданного авторами стенда представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Внешний вид экспериментального стенда

В качестве силовой основы установки использована ДВП плита толщиной 40 мм. На ней была размещена обечайка для силиконовой формы, в которую осуществлялось дозирование растворов и их последующее замерзание. Двухкомпонентный силикон с показателем твердости 40 по Шору обладает отличными свойствами в качестве материала для создания форм с легким извлечением образцов, особенно для льда [2].

При создании силиконовых форм, работающих при отрицательных температурах (или температурах отличных от температуры окружающей среды) необходимо учитывать коэффициент линейного расширения силикона, так при понижении температуры с плюс 20°C до минус 15°C линейная усадка форм достигает $6 \cdot 10^{-4}$ 1/°C, что соответствует уменьшению в 2,1 см/погонный метр силиконовой формы при ее охлаждении в указанных условиях работы установки. При создании формы перемешивание двухкомпонентного силикона рекомендуется осуществлять последовательно в двух тарах. После перемешивания в первом сосуде осуществляется переливание смеси во второй чистый сосуд и смесь перемешивается вновь. Данный подход позволяет обеспечить гарантированное перемешивание силикона и полную его

полимеризацию. Сразу после перемешивания необходимо провести дегазацию силикона с использованием вакуумного насоса для отсутствия воздушных вкраплений в структуре формы.

Для облегчения извлечения и отделения замороженных ледовых образцов под силиконовую форму укладывается лист из вспененного ПВХ с толщиной 2 мм. Для подачи растворов использована трубка из ПВХ с внутренним диаметром 2 мм, размещенная в трубчатой теплоизоляции из вспененного полиэтилена толщиной 10 мм. Чтобы избежать замерзания воды в трубке в периоды простоев установки в условиях отрицательной температуры воздуха совместно с ней был установлен гибкий саморегулирующийся нагревательный кабель мощностью 16 Вт/п.м, а снаружи на них надета теплоизолирующая трубка из вспененного полиуретана. Кронштейны для двигателей, концевых выключателей и каретки для заливки образцов были напечатаны на 3D-принтере с использованием PLA-пластика.

Главным достоинством PLA является низкая усадка при 3D-печати в отличие от ABS, что существенно снижает проблемы, связанные с короблением моделей, и упрощает прототипирование оборудования. Достоинством PLA также является хорошая адгезия к столу принтера, а главным недостатком – существенное размягчение деталей при температурах более 50 градусов. Так, изготовленные из PLA корпуса оборудования теряют свою форму под воздействием солнечного света при комнатной температуре воздуха и наличии внешней нагрузки. При печати ABS пластиков их адгезия к поверхности стола 3D принтеров существенно хуже. По опыту авторов наилучшие результаты печати достигаются при нанесении на поверхность стола перед печатью состава клеящего карандаша на основе PVP и применения принтеров с термокамерой.

Гидравлическая схема разработанного авторами стенда представлена на рисунке 2. Подача растворов 1 осуществлялась через клапана 2, объединенные в общий коллектор 3 за счет работы перистальтического насоса 4 с шаговым двигателем. При разработке кода управления клапанами была предусмотрена предварительная «проливка» трубопровода во вспомогательную емкость, что позволило использовать одну общую трубку для разлива растворов по силиконовой форме. Объем проливки был выбран таким образом, чтобы обеспечить полное опорожнение и 2-х кратную промывку гидравлической системы. Отдельное внимание было уделено сопряжению производительности насоса и скорости перемещения каретки дозирующего стенда, обеспечивающих равномерное дозированное жидкости по мере движения каретки в зависимости от скорости ее перемещения и максимально разрешенного ускорения.

Необходимо подчеркнуть основные отличия подходов к проектированию промышленного оборудования и упрощенных решений, используемых для проведения лабораторных опытов [3]. Один из крайне важных аспектов надежной и бесперебойной работы оборудования – выбор напряжений для питания и управления (взаимодействия с датчиками, кнопками и исполняющими механизмами). Распространенным промышленным стандартом создания промышленных сетей управления является CAN. За счет использования напряжения в 110В для передачи импульсов достигается высокая

помехоустойчивость сети и устойчивость к окислам в контактных группах. То же касается и ряда контрольных цепей, к примеру, применяемых в лифтах для контроля несанкционированного открытия дверей или концевиков промышленных станков.

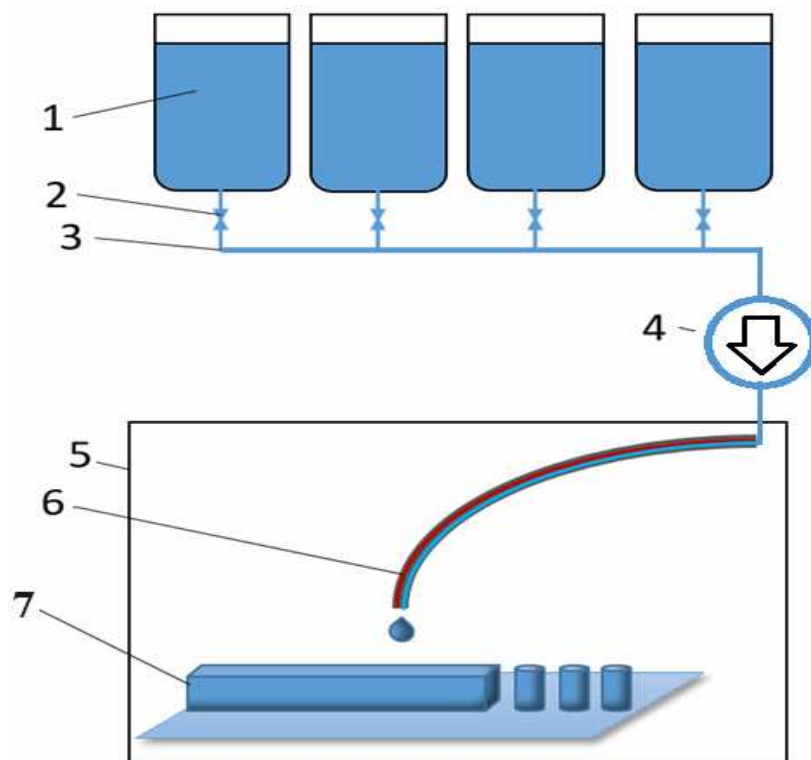


Рис. 2. Гидравлическая схема станка: 1 – сосуды с водными растворами; 2 – клапана с электромагнитным приводом; 3 – общий коллектор; 4 – перистальтический насос; 5 – холодильная камера; 6 – теплоизолированный шланг для заливки с подогревом; 7 – заливаемые ледовые образцы

В соответствии с ПУЭ опасным для человека считается напряжение выше 42 В в силовых цепях, и исходя из этого хорошим выбором для привода и управления собираемых студентами и аспирантами установок является напряжение в 36 В [4]. Кроме того, за счет выбора такого напряжения по сравнению с 5 В или 12 В можно существенно снизить сечение используемых проводов. Использование напряжения в 5 В, характерного для микроконтроллеров за пределами экранированного корпуса зачастую приводит к существенным помехам и сбоям в работе оборудования. Основной причиной этого является высокая протяженность проводов к датчикам, скачки напряжения на которых под воздействием внешнего магнитного поля могут легко превышать характерный для большинства микроконтроллеров порог в 2,5 В и приводить даже к выводу микроконтроллеров из строя. Одним из наиболее неприятных источников помех является оборудование с частотным регулированием, а также асинхронные двигатели в момент их пуска за счет высоких пусковых токов.

При создании ЧПУ в представленной работе был использован бюджетный микроконтроллер ATmega328 в составе Arduino Uno R3 и платы управления шаговыми двигателями CNC shield совместно с драйверами двигателей DRV8825. Для привода станка были использованы шаговые двигатели Nema17, зубчатые шкивы и приводные ремни типа GT2-6 с шагом зубьев 2 мм и шириной 6 мм.

Шаговый двигатель 17HS4401 характеризуется угловым шагом $1,8^\circ$, номинальным током питания 1,5 А и удерживающим моментом 4,2 кг·см. Оборудование размещалось в экранированном корпусе и для подключения концевиков использовался экранированный провод. Кроме того, на цепях контроля концевиков были дополнительно установлены пленочные керамические конденсаторы емкостью 470 нФ, что позволило использовать в данных цепях напряжение 5 В.

Использование шагового двигателя без дополнительной активации режима микрошага на драйверах совместно с зубчатыми приводными ремнями GT2-6 привело к существенной вибрации системы в процессе работы, особенно при длине ремней более 1 м. Установка дополнительных управляемых перемычек для задания микрошага 1/4 позволяет решить эту проблему, но необходимо учитывать, что при этом крутящий момент двигателя снижается до 38% от исходного, а при микрошаге 1/16 до 10% [5]. При подборе шкивов необходимо также учитывать баланс между желаемой скоростью и точностью позиционирования при перемещении каретки, так и предельную нагрузку, соответствующую потерей шаговым двигателем синхронизации.

Весьма гибкие возможности для управления установкой дает прошивка GRBL используемая совместно с языком программирования Python и модуля Serial. При этом подача G-команд станку осуществляется отправкой команд типа данных «String» с кодировкой «UTF-8» и символами конца строки «\n». Команда перемещения имеет вид «G0 X100 Y200 F1000», где 0, номер команды холостого хода, X и Y – желаемые координаты, а F – желаемая скорость перемещения [6]. Созданная авторами система управления весьма проста и обладает гибкостью в выборе количества заливаемых образцов, продолжительности выдержки между заливом слоев и т.д. Среди готовых программ, которые также способны решить данную задачу без программирования может быть использована широко известная программа MACH3. Среди ее недостатков следует отметить специфические требования к процессору компьютера: при некоторых условиях может плохо работать на современных многоядерных процессорах ввиду проблем с многозадачностью и активацией вычислительных ядер.

Таким образом, в рамках проводимой авторами исследовательской работы была выполнена разработка и изготовление ЧПУ-установки для автоматической заливки ледовых образцов из химически модифицированного льда. Ее внедрение позволило ежедневно экономить более 6 часов рабочего времени сотрудников, которым приходилось находиться внутри холодильной камеры с температурой воздуха минус 15°C , для послойной заливки водных растворов в силиконовые формы. Помимо описания стенда приводятся важные технические аспекты, которые позволили обеспечить надежную работу установки в условиях помех от промышленного оборудования и электрическую безопасность для сотрудников. Представленная информация может быть использована для создания научными работниками своих автоматизированных установок для дозированного разлива жидкостей (смешивание растворов и наполнение пробирок), опрыскиванию растений, кормлению лабораторных животных, сортировке образцов и пр.

Финансирование: статья подготовлена в рамках субсидии от министерства науки и высшего образования FSFN-2024-0080.

Список литературы

1. Гончарова Г.Ю., Разомасов Н.Д., Борщев Г.В., Бузник В.М. Химическое модифицирование льда и материалов на его основе с целью управления их свойствами // Химическая технология. – 2020. – Т. 21, №12. – С. 548-560. – doi.org/10.31044/1684-5811-2020-21-12-548-560.
2. Языева С.Б., Кулинич П.Б., Свистунова В.А. Технология изготовления форм из двухкомпонентных силиконовых компаундов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 19, №1. – С. 86-94.
3. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. – М.: Изд-во «Рипол Классик», 1972. – 384 с.
4. Дубинский Г.Н. Наладка устройств электроснабжения напряжением до 1000 В. – М.: СОЛОН-Пресс, 2018. – 400 с.
5. Latif K., Adam A., Yusof Y., Kadir A.Z.A. A review of G code, STEP, STEP-NC, and open architecture control technologies based embedded CNC systems // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021, vol. 114, pp. 2549-2566. doi.org/10.1007/s00170-021-06741-z.
6. Javed M.Y. Low cost computer numeric controller using open source software and hardware // Sci. Int. (Lahore). 2015, vol. 5, pp. 4041-4045.

Сведения об авторах:

Гончарова Галина Юрьевна – д.т.н., профессор;

Королев Игорь Антонович – к.т.н., ведущий инженер;

Туралин Денис Олегович – инженер.