

## РАЗРАБОТКА БЛОКА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ПОЛЯРИСКОПА

Гаврилов Роман Иванович<sup>1✉</sup>, Дородов Павел Владимирович<sup>2</sup>,  
Петров Виталий Анатольевич<sup>3</sup>, Торопов Лев Алексеевич<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия

<sup>4</sup>ООО ПК «СОЮЗ», Ижевск, Россия

romanfildef@gmail.com

**Аннотация.** Целью исследования является разработка блока автоматического управления лазерного полярископа с высокой разрешающей способностью и производительностью при выполнении расчетно-проектных работ на оптически прозрачных моделях деталей. На базе Удмуртского ГАУ разработан оптический прибор – лазерный полярископ, по показаниям которого рассчитываются контактные напряжения, которые после статистической обработки представляются в виде полиномов шестой степени  $\sigma_k = \sum_{i=0}^6 a_i x^i$  (уравнений регрессии). Этого достаточно для точного задания краевых условий при решении плоской (двухмерной) задачи в тригонометрических рядах. Для автоматизации системы управления оптическим прибором необходимо подобрать элементную базу и составить электрическую схему. Лазерный полярископ ЛПП-1 закреплен на координатном устройстве, смещающем луч лазера относительно прозрачной модели по двум координатам. Конструкция полярископа позволяет синхронно поворачивать поляризатор и анализатор. Для перемещения координатного устройства по двум координатам и обеспечения синхронного поворота поляризатора и анализатора используются шаговые двигатели. Для управления ими используются специальные контроллеры (драйверы), генерирующие последовательность импульсов определенной частоты. Они преобразуют управляющие сигналы от микроконтроллера или ПК в силовые импульсы тока, необходимые для работы двигателя. Разработанная схема с выбранными контроллером BE1105 и драйверами DM542 позволяет регулировать скорость вращения валов шаговых двигателей при изменении величины моментов сопротивления, исключает пропуск шагов без обратной связи и резонансные явления, имеет низкое энергопотребление. Испытания блока управления показали высокую надежность электропривода лазерного прибора (динамический коэффициент запаса близок к 6) и точность исследований напряженного состояния в моделях деталей сложной формы (дискретизация линейного перемещения координатного устройства составляет 3,1 мкм). Лабораторные исследования показали, что разработанный прибор с автоматической системой контроля и управления позволяет повысить производительность работ на этапе проектирования новых изделий для АПК не менее чем в 3,5 раза.

**Ключевые слова:** автоматическое управление полярископом, лазерный полярископ, физическое моделирование напряженного состояния, шаговый двигатель, контроллер и драйвер шагового двигателя.

**Для цитирования:** Разработка блока автоматического контроля и управления лазерного полярископа / Р. И. Гаврилов, П. В. Дородов, В. А. Петров, Л. А. Торопов // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4(84). С. 140-147. [https://doi.org/10.48012/1817-5457\\_2025\\_4\\_140-147](https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_4_140-147).

**Актуальность.** Сложившаяся ситуация в стране требует интенсивного развития агропромышленной отрасли путем повышения производительности производства, разработки новых научно-технических решений при создании новой или модернизации существующей сельхозтехники и оборудования, поэтому перед конструкторско-проектными организациями ставятся все более сложные и ответственные задачи, а также предъявляются высокие требования

к эффективности разрабатываемой техники [1, 4, 5, 15].

Для достижения требуемого качества машин и оборудования необходимо провести большое количество различных испытаний на стадии их проектирования, что увеличивает время и материалоемкость конструкторских работ, поэтому актуальным является поиск инновационных методов исследования, к которым относятся ускоренные испытания не на прототипах изде-

лий, а на их физических моделях. Проведение ускоренных испытаний позволяет определить изменение различных параметров в короткие сроки за счет изменения воздействующих факторов, а также режимов работы и условий эксплуатации. Данные испытания позволяют определить оптимальные конструкторские решения относительно конкретной детали или узлов машины [1, 5, 7, 8, 15].

Методы оптимального проектирования конструктивных элементов основываются на условии их равнопрочности, которое обеспечивает минимальную материалоемкость и, соответственно, увеличивает эффективность производства. Для исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) нагруженных деталей существуют аналитические и экспериментальные методы. Из-за использования деталей со сложной геометрией и различными концентраторами напряжений при решении оптимизационных задач аналитические исследования НДС становятся сложными, т.к. заранее неизвестны краевые условия. К этим условиям относится характер распределения и величина напряжений в местах с нарушенной геометрией и контактного взаимодействия между деталями (контактные напряжения) [1, 2, 5, 7, 8, 15].

Аналитические решения можно упростить, если задавать краевые условия в эмпирической форме – в виде уравнений регрессии. Для экспериментальных исследований контактных напряжений с высокой их концентрацией в различных прозрачных моделях деталей применяются точные оптические приборы – полярископы, интерферометры, полярископы-интерферометры.

Так, на базе Удмуртского ГАУ разработан лазерный полярископ, оптическая схема которого приведена на рисунке 1. В лазерном полярископе (ЛПП-1) на фотодатчик поступает сигнал не от проходящего через модель детали из ОС луча лазера, а от отраженного [1, 2, 5, 15]. Луч лазера проходит через модель из ОС 4, частично отражается от ее задней плоскости, затем от зеркала 6, проходит через оптический анализатор 7 и попадает на фотодатчик 8, показания выходного сигнала с которого снимаются мультиметром (милливольтметром или микроамперметром) 9 [1, 5, 15].

Предложенная схема позволяет исследовать максимальные касательные напряжения в любой точке модели (диаметр пятна луча лазера при фокусировке может достигать 0,1 мм) в пределах рабочей зоны нагружения между опорными плитами нагрузного устройства.

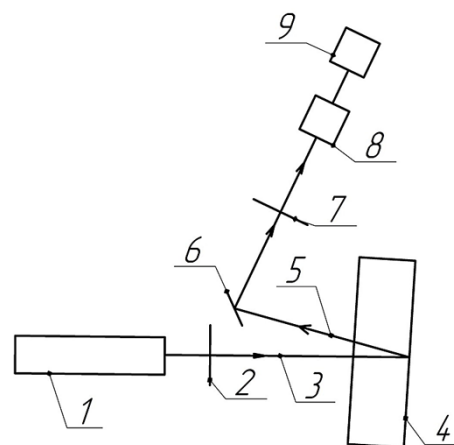


Рисунок 1 – Оптическая схема лазерного полярископа ЛПП-1:

- 1 – полупроводниковый лазер;
- 2 – поляризатор; 3 – падающий на модель луч лазера;
- 4 – нагруженная модель из оргстекла;
- 5 – отраженный от модели луч лазера;
- 6 – зеркало; 7 – анализатор;
- 8 – фотоприемник; 9 – микроамперметр

Технические параметры оптико-механического устройства:

- максимальное усилие на модель – 5000 Н;
- шаг угла поворота шаговых двигателей (плоскости поляризации) – 5 град.;
- максимальные габариты моделей деталей – 100x120 мм;
- цена деления координатного механизма ЛПП-1 по вертикали и горизонтали – 0,1 мм;
- материал модели – органическое стекло (плексиглас);
- оптическая разрешающая способность ЛПП-1 –  $0,1 \pm 0,01$  мм.

Внешний вид установки с полярископом представлен на рисунке 2.

Большой объем исследований напряженно-деформированного состояния на экспериментальной установке с полярископом ЛПП-1 показал, что для прибора необходимо разработать систему автоматического контроля и управления, это обеспечит его высокую производительность и точность исследований [2, 5, 15], поэтому подбор элементной базы системы управления является актуальной задачей.

**Целью исследований** является разработка блока автоматического управления лазерного полярископа с высокой разрешающей способностью и производительностью при выполнении расчетно-проектных исследований на оптически прозрачных моделях деталей.

**Задачи:** обосновать элементную базу для схемы автоматического управления электропривода прибора, которая должна отличаться высокой надежностью и экономичностью изготовления; провести тестовые испытания электропривода

для проверки показателей эффективности и решающей способности полярископа.

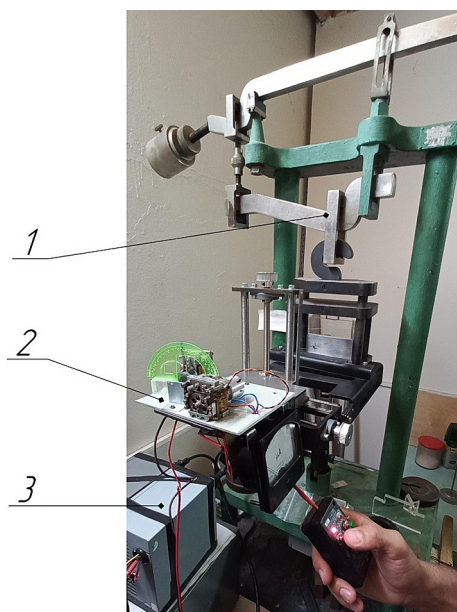


Рисунок 2 – Оптико-механическая установка с ЛПП-1:

1 – нагрузочное устройство; 2 – лазерный полярископ ЛПП-1; 3 – блок управления

**Материал и методы.** По показаниям измерительного прибора (микроамперметра или милливольтметра) оптической установки рассчитываем контактные напряжения по формуле [1, 2, 5, 14]:

$$\sigma_k = 2\tau_{max} = \frac{16 \cdot P_{0,5}}{\pi^2 \cdot D \cdot S} \cdot \left( \arcsin \sqrt{\frac{U}{U_{max}}} - \theta \right),$$

где  $P_{0,5}$ ,  $D$ ,  $S$ ,  $U_{max}$ ,  $\theta$  – тарировочные величины;  $U$  – показания измерительного прибора. Так, для моделей деталей из плексигласа толщиной  $s = 6$  мм сдвиг  $\theta = 0,224$ , для  $s = 7$  мм –  $\theta = 0,274$  при  $U_{max} = 18,6$  мВ,  $D = 59,2$  мм,  $P_{0,5} = 1177,2$  Н.

Затем контактные напряжения после статистической обработки представляются в виде полиномов шестой степени  $\sigma_k = \sum_{i=0}^6 a_i x^i$  (уравнений регрессии), что вполне достаточно для точного задания краевых условий при решении плоской (двухмерной) задачи в тригонометрических рядах [1, 5, 15].

**Результаты работы.** Для автоматизации системы управления оптическим прибором необходимо подобрать элементную базу и составить электрическую схему. Лазерный полярископ ЛПП-1 закреплен на координатном устройстве, смещающем луч лазера относительно прозрачной модели по двум координатам. Конструкция

полярископа позволяет синхронно поворачивать поляризатор и анализатор. Для перемещения координатного устройства по двум координатам и обеспечения синхронного поворота поляризатора и анализатора используются шаговые двигатели (ШД) [2, 4, 5, 14, 15].

В настоящее время шаговые двигатели играют ключевую роль в автоматизации технологических процессов различных сфер деятельности, где требуется точное позиционирование и контроль движения. Их популярность обусловлена сочетанием надежности, точности, относительной простоты управления и доступной стоимости. Шаговые двигатели преобразуют электрический импульс в точно определенное механическое перемещение [3, 6, 9-13]. В отличие от обычных электродвигателей, которые вращаются непрерывно, шаговые перемещаются дискретными шагами, что обеспечивает высокую точность позиционирования без необходимости использования обратной связи.

В основе функционирования шагового двигателя лежит электромагнитное взаимодействие между статором и ротором. Статор шагового двигателя содержит несколько электромагнитных катушек (обмоток), которые при подаче на них электрического тока создают магнитное поле.

Основные преимущества шаговых двигателей перед другими типами: возможность точного позиционирования без обратной связи; способность удерживать положение без потребления энергии (при наличии редуктора) или с минимальным потреблением; простота управления; высокая надежность благодаря отсутствию щеток и других изнашивающихся механических частей; возможность работать в широком диапазоне скоростей с высокой точностью. К недостаткам можно отнести снижение крутящего момента с ростом скорости; возможность пропуска шагов при перегрузках (без обратной связи); склонность к резонансным явлениям на определенных скоростях; более высокое энергопотребление по сравнению с некоторыми другими типами двигателей; ограниченная максимальная скорость [3, 6, 9-13, 16-19].

Для управления шаговыми двигателями используются специальные контроллеры (драйверы), которые генерируют последовательность импульсов определенной частоты и подают их на обмотки двигателя в нужной последовательности. Они преобразуют управляющие сигналы от микроконтроллера или ПК в силовые импульсы тока, необходимые для работы двигателя. Скорость вращения двигателя прямо пропорциональна частоте этих импульсов. Совре-

менные драйверы шаговых двигателей обычно реализуются на основе специализированных интегральных микросхем (ИМС) и силовых полевых транзисторов. Основные функции драйвера шагового двигателя: коммутация обмоток в требуемой последовательности; регулирование величины тока в обмотках; обеспечение высокой скорости нарастания тока; защита от перегрузок и короткого замыкания; реализация различных режимов управления (полный шаг, полшаг, микрошаг); обеспечение рекуперации энергии при отключении обмоток [9-13, 16-19].

Подключение шаговых двигателей через драйвер и контроллер необходимо для эффективного и точного управления двигателем. Основные обоснования использования драйвера и контроллера следующие: шаговый двигатель нельзя подключать напрямую к контроллеру (например, Arduino), так как он потребляет значительные токи, которые микроконтроллер не может обеспечить непосредственно; драйвер обеспечивает подачу необходимой электроэнергии на обмотки двигателя, защищая при этом контроллер от перегрузок и сбоев; драйвер преобразует управляющие сигналы контроллера (например, импульсы направления и шагов) в корректные электрические импульсы для обмоток двигателя, что позволяет точно управлять шагами двигателя и направлениями вращения, а также осуществлять работу в режимах микрошагов для плавного и медленного вращения; использование драйвера значительно снижает на-

грузку на вычислительные ресурсы контроллера, так как драйвер берет на себя формирование необходимых импульсов и режимов работы двигателя (полношаговый, полшаговый, микрошаговый); драйверы часто содержат настройки тока и защиту от перегрева и перегрузок, что повышает надежность всей системы; современные драйверы могут также поддерживать различные интерфейсы управления, включая цифровые протоколы и RS-485 [10, 11, 13, 16, 18].

Таким образом, контроллер задает команды – направление и сигнал шага, а драйвер преобразует эти сигналы в мощные импульсы, необходимые для точного и безопасного управления шаговым двигателем, поэтому для автоматического контроля и управления полярископа ЛП-1 необходимо модуль фотоприемника и шаговые двигатели подключить через согласующие устройства к микроконтроллеру, который формирует управляющие сигналы [9-11, 16, 18]. С этой целью разработана структурная схема автоматического управления оптическим прибором, которая представлена на рисунке 3.

Для устранения недостатков привода с шаговыми двигателями из условий надежности, простоты подключения и экономической эффективности нами подобраны комплектующие структурной схемы, основными элементами которой являются: контроллер BE1105; драйверы шаговых двигателей марки DM542. Так как контроллер BE1105 может работать с одним драйвером, необходимо использовать четыре таких

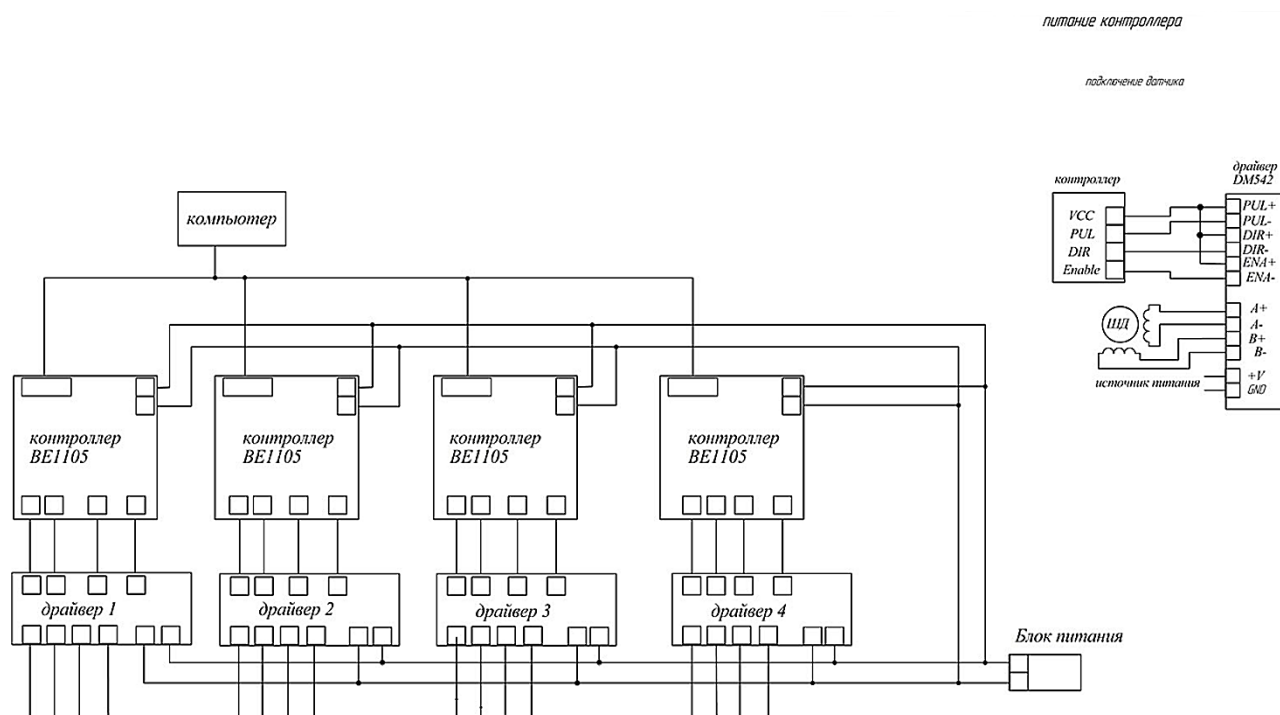


Рисунок 3 – Структурная схема автоматического управления оптическим прибором ЛП-1



контроллера. Внешний вид драйвера DM542 и схема подключения представлены на рисунках 4, 5.

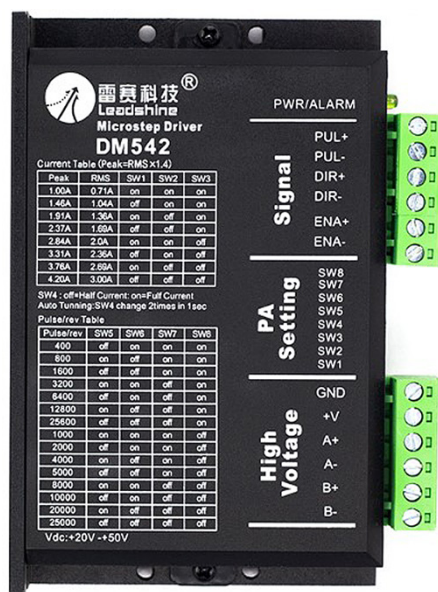


Рисунок 4 – Внешний вид драйвера DM542

Разработанный блок контроля и управления лазерного полярископа показал высокую точность работы механизмов оптико-механической установки и эффективность регистрации результатов экспериментальных исследований в зонах моделей деталей с высокой концентрацией напряжений.

## Выводы:

1. Разработанная схема с выбранными контроллером BE1105 и драйверами DM542 позво-

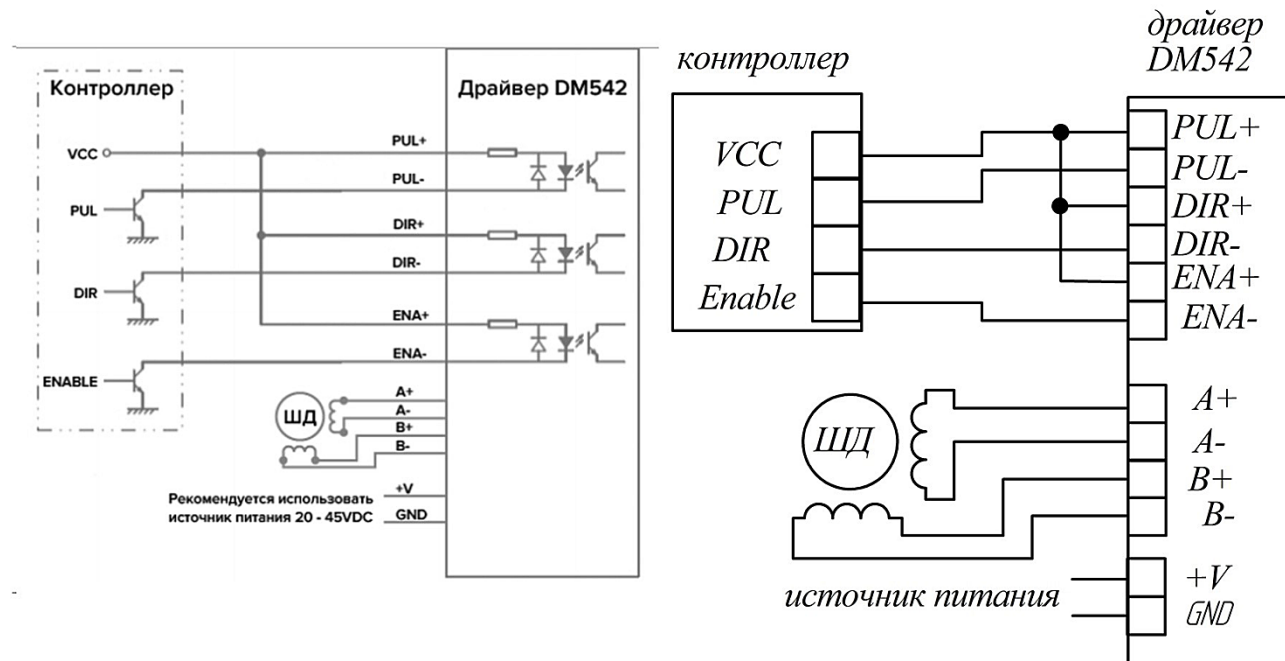
ляет регулировать скорость вращения валов шаговых двигателей при изменениях величины моментов сопротивления; исключает пропуск шагов без обратной связи и резонансные явления; имеет низкое энергопотребление.

2. Испытания блока управления показали высокую надежность электропривода лазерного прибора (динамический коэффициент запаса близок к 6) и точность исследований напряженного состояния в моделях деталей сложной формы (дискретизация линейного перемещения координатного устройства составляет 3.1 мкм).

3. Лабораторные исследования показали, что разработанный прибор с автоматической системой контроля и управления позволяет повысить производительность работ на этапе проектирования новых изделий для АПК не менее чем в 3,5 раза.

## Список источников

1. Дородов П. В., Гусева Н. В., Киселев М. М. Разработка и применение лазерного полярископа-интерферометра для исследования напряжений в моделях деталей машин. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2019. 148 с. EDN AFKXNQ.
2. Дородов П. В. Повышение надежности сельскохозяйственных машин путем оптимизации формы их деталей: дис. ... д-ра техн. наук / Дородов Павел Владимирович. Москва, 2015. 327 с. EDN ZGDAUP.
3. Душин С. Е., Красов А. В., Кузьмин Н. Н. Моделирование систем управления / Под ред. С. Е. Душина. Москва: Студент, 2012. 348 с.



**Рисунок 5 – Схема подключения драйвера DM542**

4. Ильиных С. А. Современные проблемы проектирования и строительства рамных металлоконструкций при использовании методов оптимизации // Молодой ученый. 2023. № 16(463). С. 53-55. EDN MFCSEB.

5. Киселев М. М. Разработка установки для определения главных напряжений с повышенным пространственным разрешением в плоских прозрачных изделиях: дис. ... канд. техн. наук / Киселев Михаил Михайлович. Ижевск, 2010. 137 с. EDN QFBTOJ.

6. Клевакин В. В., Хомченко В. Г. К расчету параметров шагового привода // Динамика систем, механизмов и машин. 2009. № 2. С. 241-244. EDN VQARMD.

7. Климков Ю. М. Прикладная лазерная оптика. Москва: Машиностроение, 1985. 128 с.

8. Кокер Э., Файлон Л. Оптический метод исследования напряжений; Пер. с англ. под ред. проф. Н. М. Беляева, проф. А. П. Афанасьева с дополнит. статьей Д. К. Кнолля. Ленинград; Москва: Онти. Глав. ред. общетехн. лит-ры, 1936 (Л.: тип. им. Евг. Соколовой). Переплет, 634 с.

9. Кривохатко Е. А., Хомченко В. Г. Расчет параметров шагового двигателя исполнительного механизма цикловых машин-автоматов при обеспечении заданного оптимального по скорости закона движения рабочего органа // Автоматизация, мехатроника, информационные технологии: материалы VI Междунар. науч.-техн. интернет-конф. молодых ученых, Омск, 17 мая 2016 г. Омск: ФГБОУ ВО Омский ГУ, 2016. С. 118-122. EDN WXNTHZ.

10. Лыкова Е. А. Выбор режима работы шагового двигателя в станках числового программного управления // Современные инновации, системы и технологии. 2024. Т. 4, № 3. С. 401-407. DOI 10.47813/2782-2818-2024-4-3-0401-0407. EDN ZTURQS.

11. Макаров Д. Е., Алексеев И. С. Система управления шаговым двигателем на базе ArduinoUNO // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине : материалы Междунар. науч. конф., Томск, 29 апр. – 02 мая 2014 г. Том Часть 1. Томск: Нац. исслед. Томск. политех. ун-т, 2014. С. 56-58. EDN TJJPRP.

12. Математическая модель шагового двигателя для системы управления привода 3D-принтера / М. А. Анкуда [и др.] // НЕФТЕХИМИЯ-2018: материалы I Междунар. науч.-техн. форума по хим. технологиям и по нефтегазопереработке. В 2 ч., Минск, 27–30 нояб. 2018 г. Том Часть 1. Минск: Белорусский госу. технол. ун-т, 2018. С. 218-222. EDN YPKCUP.

13. Мельниченко В. О. Контроль шагового двигателя с помощью драйвера шагового двигателя и платы Arduino // Теоретические и прикладные аспекты естественно-научного образования в эпоху цифровизации: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 11–12 апр. 2024 г. Брянск: Брянский гос. ун-т им. акад. И. Г. Петровского, 2024. С. 83-88. EDN ZQPKZR.

14. Об оптических методах исследования напряженно-деформированного состояния / П. В. Дородов [и др.] // Современные тенденции технологического развития АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посв. Десятилетию науки и технологий и 300-летию РАН. Ижевск, 24–26 февр. 2025 г. Ижевск: УдГАУ, 2025. С. 316-321. EDN HRMPHU.

15. Петров В. А. Повышение надежности дробилки зерна путем оптимизации конструкции лопастного колеса барабана: дис. ... канд. техн. наук / Петров Виталий Анатольевич. Ижевск, 2023. 182 с. EDN TIGXIO.

16. Со Л. М. Исследование и разработка моделей и алгоритмов старт-стопных режимов автоматических устройств управления шаговыми электроприводами: дис. ... канд. техн. наук / Со Лин Маунг, Москва, 2015. 170 с. EDN VCYAGW.

17. Умнов В. П. Автоматизированный многолучевой лазерный комплекс с управляемым телескопом // Современные наукоемкие технологии. 2025. № 4. С. 82-89. DOI 10.17513/snt.40369. EDN XJSUPA.

18. Управление шаговым двигателем при помощи акселерометра / О. Е. Новикова [и др.] // Инновационные перспективы Донбасса: материалы 2-й Междунар. науч.-практ. конф., Донецк, 25–26 мая 2016 г. Донецк: Донецк. нац. техн. ун-т, 2016. Т. 2. С. 154-159. EDN JOLUXY.

19. Черкасова В. А., Брикова О. И. Разработка автоматической системы управления линейным приводом для задач микропозиционирования лазерного оборудования // Молодежная школа-семинар по проблемам управления в технических системах им. А. А. Вавилова. 2018. Т. 1. С. 30-33. EDN LUFYHL.

## References

1. Dorodov P. V., Guseva N. V., Kiselev M. M. Razrabotka i primeneniye lazernogo polyariskopa-interferometra dlya issledovaniya napryazhenij v modelyax detalej mashin. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSXA, 2019. 148 s. EDN AFKXNQ.

2. Dorodov P. V. Povysheniye nadezhnosti sel'skoxozyajstvenny'x mashin putem optimizatsii formy' ix detalej: dis. ... d-ra techn. nauk / Dorodov Pavel Vladimirovich. Moskva, 2015. 327 s. EDN ZGDAUP.

3. Dushin S. E., Krasov A. V., Kužmin N. N. Modelirovaniye sistem upravleniya / Pod red. S. E. Dushina. Moskva: Student, 2012. 348 s.

4. Il'iny'x S. A. Sovremennyye problemy' proektirovaniya i stroitel'stva ramny'x metallokonstrukcij pri ispol'zovanii metodov optimizatsii // Molodoj ucheny'j. 2023. № 16(463). S. 53-55. EDN MFCSEB.

5. Kiselev M. M. Razrabotka ustanovki dlya opredeleniya glavny'x napryazhenij s povyshenny'm prostranstvenny'm razresheniem v ploskix prozrachny'x izdeliyax: dis. ... kand. techn. nauk / Kiselev Mixail Mixajlovich. Izhevsk, 2010. 137 s. EDN QFBTOJ.

6. Klevakin V. V., Xomchenko V. G. K raschetu parametrov shagovogo privoda // Dinamika sistem, mexanizmov i mashin. 2009. № 2. S. 241-244. EDN VQARMD.

7. Klimkov Yu. M. Prikladnaya lazernaya optika. Moskva: Mashinostroenie, 1985. 128 s.

8. Koker E., Fajlon L. Opticheskij metod issledovaniya napryazhenij; Per. s angl. pod red. prof. N. M. Belyaeva, prof. A. P. Afanas'eva s dopolnit. stat'ej D. K. Knollya. Leningrad; Moskva: Onti. Glav. red. obshhetexn. lit-ry, 1936 (L.: tip. im. Evg. Sokolovoj). Pereplet, 634 s.

9. Krivoxat'ko E. A., Xomchenko V. G. Raschet parametrov shagovogo dvigatelya ispolnitel'nogo mexanizma ciklov'x mashin-avtomatov pri obespechenii zadannogo optimal'nogo po skorosti zakona dvizheniya rabocheho organa // Avtomatizaciya, mexatronika, informacionny'e tekhnologii: materialy VI Mezhdunar. nauch.-texn. internet-konf. molody'x ucheny'x, Omsk, 17 maya 2016 g. Omsk: FGBOU VO Omskij GU, 2016. S. 118-122. EDN WXNTHZ.

10. Ly'kova E. A. Vy'bor rezhima raboty shagovogo dvigatelya v stankax chislovogo programmno upravleniya // Sovremennye innovacii, sistemy i tekhnologii. 2024. T. 4, № 3. S. 401-407. DOI 10.47813/2782-2818-2024-4-3-0401-0407. EDN ZTURQS.

11. Makarov D. E., Alekseev I. S. Sistema upravleniya shagovy'm dvigatelem na baze ArduinoUNO // Informacionny'e tekhnologii v nauke, upravlenii, social'noj sfere i medicine : materialy Mezhdunar. nauch. konf., Tomsk, 29 apr. – 02 maya 2014 g. Tom Chast' 1. Tomsk: Nacz. issled. Tomsk. politex. un-t, 2014. S. 56-58. EDN TJJPRP.

12. Matematicheskaya model shagovogo dvigatelya dlya sistemy upravleniya privoda 3D-printera / M. A. Ankuda [i dr.] // NEFTEXIMIYa-2018: materialy I Mezhdunar. nauch.-texn. foruma po xim. tekhnologiyam i po neftegazopererabotke. V 2 ch., Minsk, 27–30 noyab. 2018 g. Tom Chast' 1. Minsk: Belorusskij gos. texnol. un-t, 2018. S. 218-222. EDN YPKCUP.

13. Mel'nichenko V. O. Kontrol shagovogo dvigatelya s pomoshh'yu drajvera shagovogo dvigatelya i platy

Arduino // Teoreticheskie i prikladny'e aspekty estestvenno-nauchnogo obrazovaniya v epoxu cifrovizacii: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Bryansk, 11–12 apr. 2024 g. Bryansk: Bryanskij gos. un-t im. akad. I. G. Petrovskogo, 2024. S. 83-88. EDN ZQPKZR.

14. Ob opticheskix metodax issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya / P. V. Dorodov [i dr.] // Sovremennye tendencii tekhnologicheskogo razvitiya APK: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posv. Desyatiletiju nauki i tekhnologii i 300-letiyu RAN. Izhevsk, 24–26 fevr. 2025 g. Izhevsk: UdGAU, 2025. S. 316-321. EDN HRMPHU.

15. Petrov V. A. Povyshenie nadezhnosti drobilki zerna putem optimizacii konstrukcii lopastnogo kolesa barabana: dis. ... kand. texn. nauk / Petrov Vitaliy Anatol'evich. Izhevsk, 2023. 182 s. EDN TIGXIO.

16. So L. M. Issledovanie i razrabotka modelej i algoritmov start-stopny'x rezhimov avtomaticheskix ustrojstv upravleniya shagovy'mi e'lektroprivodami: dis. ... kand. texn. nauk / So Lin Maung, Moskva, 2015. 170 s. EDN VCYAGW.

17. Umnov V. P. Avtomatizirovannyj mnogoluchevoj lazernyj kompleks s upravlyaemy'm teleskopom // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2025. № 4. S. 82-89. DOI 10.17513/snt.40369. EDN XJSUPA.

18. Upravlenie shagovy'm dvigatelem pri pomoshhi akselerometra / O. E. Novikova [i dr.] // Innovacionny'e perspektivy Donbassa: materialy 2-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Doneczk, 25–26 maya 2016 g. Doneczk: Doneczk. nacz. texn. un-t, 2016. T. 2. S. 154-159. EDN JOLUXY.

19. Cherkasova V. A., Brikova O. I. Razrabotka avtomaticheskoy sistemy upravleniya linejny'm privodom dlya zadach mikropozicionirovaniya lazernogo oborudovaniya // Molodezhnaya shkola-seminar po problemam upravleniya v texnicheskix sistemax im. A. A. Vavilova. 2018. T. 1. S. 30-33. EDN LUFYHL.

## Сведения об авторах:

**Р. И. Гаврилов**<sup>1✉</sup>, старший преподаватель;

**П. В. Дородов**<sup>2</sup>, доктор технических наук, доцент, профессор, <https://orcid.org/0000-0003-1478-5876>;

**В. А. Петров**<sup>3</sup>, кандидат технических наук, доцент;

**Л. А. Торопов**<sup>4</sup>, директор

<sup>1,2,3</sup>Удмуртский ГАУ, 426069, Россия, Ижевск, ул. Студенческая, 9

<sup>4</sup>ООО ПК «СОЮЗ», 426075, Россия, Ижевск, ул. Ленина, 142

[romanfildef@gmail.com](mailto:romanfildef@gmail.com)

Original article

## DEVELOPMENT OF THE AUTOMATIC CONTROL AND MANAGEMENT UNIT FOR A LASER POLARISCOPE

**Roman I. Gavrilov**<sup>1✉</sup>, **Pavel V. Dorodov**<sup>2</sup>, **Vitaliy A. Petrov**<sup>3</sup>, **Lev A. Toropov**<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia

<sup>4</sup>ООО ПК SOYUZ, Izhevsk, Russia

[romanfildef@gmail.com](mailto:romanfildef@gmail.com)

**Abstract.** The research purpose is to develop an automatic control unit for a laser polariscope with high resolution and efficiency for conducting computational and design tasks involving optically transparent models

of parts. An optical device, a laser polariscope has been developed at the Udmurt State Agricultural University. It calculates contact stresses providing precise measurements. After statistical analysis, the contact stresses are expressed as polynomials in the sixth power (regression equations). This is sufficient to accurately define boundary conditions when solving a plane  $\sigma_k = \sum_{i=0}^6 a_i x^i$  (two-dimensional) problem using trigonometric series. To automate the control system of the optical device, it is necessary to choose an appropriate component base and design an electrical circuit. The LP-1 laser polariscope is mounted on a coordinate device which shifts the laser beam in relation to the transparent model in two coordinates. The polariscope design enables the synchronous rotation of both the polarizer and the analyzer. Stepper motors are used to move the coordinate device in two coordinates and ensure synchronous rotation of the polarizer and analyzer. Stepper motors require specialized controllers (drivers) to function. These drivers produce a series of pulses at a specific frequency, controlling the motor's movement. They convert control signals from a microcontroller or PC into the power current pulses necessary for the motor to operate. The developed circuit, utilizing the BE 1105 controller and DM 542 drivers, allows for precise control of the rotational speed of the stepper motor shafts by changing the magnitude of the resistance moments; it prevents missed steps without feedback and mitigates resonant issues; it has low power consumption. The tests of the control unit have shown high reliability of the electric drive of the laser device (the dynamic safety factor is close to 6) and the accuracy of studies of the stress state in models of parts of complex shape (the discretization of linear movement of the coordinate device is 3.1 microns). Laboratory studies demonstrate that the developed device with an automatic control and management system provides the opportunity to increase the productivity at the stage of designing new products for the agro-industrial complex by at least 3.5 times.

**Key words:** automatic polariscope control, laser polariscope, physical stress simulation, stepper motor, stepper motor controller and driver.

**For citation:** Gavrilov R. I., Dorodov P. V., Petrov V. A., Toropov L. A. Development of the automatic control and management unit for the laser polariscope. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2025; 4 (84): 140-147. (In Russ.). [https://doi.org/10.48012/1817-5457\\_2025\\_4\\_140-147](https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_4_140-147).

#### Authors:

**R. I. Gavrilov**<sup>1✉</sup>, Senior Lecturer;

**P. V. Dorodov**<sup>2</sup>, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-1478-5876>;

**V. A. Petrov**<sup>3</sup>, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

**L. A. Toropov**<sup>4</sup>, Director

<sup>1,2,3</sup>Udmurt State Agricultural University, 9 Studencheskaya St., Izhevsk, Russia, 426069

<sup>4</sup>ООО ПК СОYУЗ, 142 Lenina St., Izhevsk, Russia, 426075

[romanfildef@gmail.com](mailto:romanfildef@gmail.com)

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare that they have no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 03.09.2025; одобрена после рецензирования 15.10.2025;

принята к публикации 01.12.2025.

The article was submitted 03.09.2025; approved after reviewing 15.10.2025; accepted for publication 01.12.2025.

#### Научная статья

УДК 631.544.45:628.94

DOI 10.48012/1817-5457\_2025\_4\_147-156

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСВЕТИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ФИТОТРОНА

**Гусенников Евгений Николаевич**<sup>✉</sup>, Юран Сергей Иосифович

Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия

[ujhuf99@gmail.com](mailto:ujhuf99@gmail.com)

**Аннотация.** Для выращивания различных видов растений требуются особые параметры искусственного освещения, поэтому возникает потребность в получении точных светотехнических характеристик осветительного оборудования. В контексте разработки фитотрона информация о данных характеристиках позволяет более точно выбирать условия роста растений, в том числе и пропорции