

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-1-133-141

Акулов А.А., Подгорный А.В., Талдыкин Д.С., Логанов Н.В.Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет***E-mail: a.akulov.98@mail.ru*

ВЛИЯНИЯ ТЕПЛИЧНОГО МИКРОКЛИМАТА НА КАЧЕСТВО ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Аннотация. В данном исследовании проводится количественный анализ влияния влажности воздуха на ключевые метрики качества изображения: контрастность (C) и индекс структурного сходства ($SSIM$). Методология включала искусственную деградацию референсных изображений для моделирования эффектов конденсата (роса, водяной туман) при уровнях влажности 45–90 %. Результаты демонстрируют статистически значимую отрицательную корреляцию: с ростом влажности до 90 % контрастность снижается на 37,8 %, а $SSIM$ — на 26,5 % относительно базовых значений. Установлено, что порог существенного ухудшения восприятия ($SSIM \leq 0.85$) достигается при относительной влажности около 73 %. Исследование определяет критический предел влажности (65–70 %) для некорректной работы незащищенных СМЗ и обосновывает необходимость разработки алгоритмов компенсации или исключения артефактов, индуцированных влагой, для обеспечения надежности систем точного земледелия. Результаты исследования формируют теоретическую базу для разработки требований к аппаратной защите оптики, алгоритмам предобработки изображений или правилам исключения данных, полученных в условиях, способствующих конденсации, что необходимо для обеспечения экологической надежности и точности систем автоматизированного контроля в агропромышленном комплексе.

Ключевые слова: машинное зрение, микроклимат теплицы, влажность, качество изображения, конденсат, точное земледелие, экологическая безопасность.

Введение. Современные технологии в настоящее время получают достаточно широкое распространение во всех отраслях государства, в том числе, в агропромышленном комплексе. Применение систем технического зрения (СТЗ) является эффективным, но нераспространенным способом повышения эффективности отдельных предприятий агропромышленного комплекса, не смотря на значительное увеличение количества и качества исследований в данной области [1].

Известные исследования, направленные на применение СТЗ на технике для автоматизации процессов посадки, обработки и сбора урожая, для осуществления мониторинга больших открытых территорий и для решения иных задач земледелия в агропромышленном комплексе. Немаловажным и перспективным за счет своей потенциальной эффективности является применение СТЗ в контролируемых условиях земледелия, а именно, в теплицах. Потенциально высокая эффективность применения таких систем обуславливается неизменными условиями работы периферийных устройств СТЗ и возможностью создания необходимых условий по освещению, а также меньшим воздействием условий окружающей среды в случае применения СТЗ в полевых условиях, таких как осадки, запыленность и др., значительно влияющих на качество обработки и определения объектов и их свойств на полученных изображениях [2,3].

Теплица является спроектированным для создания определенных условий для возделывания

культур строением, обладающим рядом преимуществ в сравнении с открытым грунтом, но в то же время сложной средой для применения автоматизированных систем мониторинга за состоянием роста и развития болезней. Замкнутый характер микроклимата в теплице создает условия, характеризующиеся высокой относительной влажностью и ограниченной циркуляцией воздуха, что может приводить к перепадам влажности, образованию водяного тумана и выпадению росы [4].

Туман и роса являются факторами, оказывающими непосредственное влияние на качество исходного изображения и, соответственно, на качество оценки состояния культуры и принимаемых системой мониторинга решений. Аналитическое исследование влияния данных факторов позволит предусмотреть некоторые факторы работы СТЗ в тепличных условиях до их фактического применения, оценить степень их влияния на качество работы системы и предусмотреть возможные направления решения выявленных факторов [5].

Выпадение росы на объективах камер СТЗ и появление водяного тумана непосредственно влияют на оптические свойства периферийных устройств системы и приводят к заметным искажениям изображений, снижения четкости, контраста и искажения цвета, что существенно влияет на качество работы вычислительного модуля, так как большинство систем обработки и анализа

изображений основываются на определении контура и формы объекта, а также его цветовой идентификации [6].

Целью данного аналитического исследования является оценка влияния водяного тумана и росы на качество получаемых изображений и точность определения объекта на изображении и его состояния.

Данное исследование направлено на количественную оценку взаимосвязи между конкретными параметрами влажности и критическими показателями качества изображения, такими как контрастность, отношение сигнал/шум (SNR) и структурное сходство (SSIM). Основная цель исследования состоит в том, чтобы создать теоретическую базу исследования механизмов деградации, определяющая критические пороговые значения для снижения производительности и обеспечивающая основу для разработки более экологических систем машинного зрения для сельского хозяйства.

Материалы и методы. Определено, что ключевыми параметрами, оказывающими непосредственное влияние на качество изображения и, как следствие, точность определения объекта и его состояния являются на изображении являются: четкость, контрастность и искажение цвета [7]. Тогда в качестве аналитического эксперимента настоящего исследования определяются два основных показателя:

– Контрастность (контраст, C), являющаяся отдельным показателем качества изображения.

– Структурное сходство (SSIM) – факторный показатель, зависящий от четкости изображения (размытия) и искажения цвета.

Для определения влияния тепличных условий на качество работы аналитической системы мониторинга за состоянием окружающей среды были проанализированы исследования, определяющие влияние влажности на изображение [8]. Далее, были отобраны 100 референсных изображений, на которые с помощью искусственной деградации с помощью фильтров и преобразований были наложены эффекты до достижения состояния изображения, соответствующего

45 %, 60 %, 70 %, 80 % и 90 % влажности, соответственно. Таким образом, было получено 500 изображений для проведения аналитического эксперимента. Стоит отметить, что все эксперименты проводились при условии выпадения росы и образования водяного тумана при соответствующих показателях влажности.

Для достижения требуемого уровня качества изображений применялись следующие методы искусственной деградации:

- рассеяние света на микрокаплях (размытие по Гауссу),
- ухудшение видимости (манипулирование контрастом),
- искажение структуры (локальные фильтры, уменьшающие SSIM) [9].

Эксперимент включал в себя аналитическое определение показателя контраста и индекса структурного сходства для каждого набора изображений, соответствующих определенной влажности и сравнение их с исходным набором изображений. Аналитическое исследование основывалось на следующих зависимостях:

1. Контраст C – измеряется как разница между максимальной и минимальной интенсивностями пикселей [10]:

$$C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}, \quad (1)$$

где I_{\max} и I_{\min} представляют собой максимальную и минимальную интенсивность пикселей соответственно.

2. SSIM для оценки сходства эталонного и «искусственного» изображения был рассчитан в соответствии с формулой [11]:

$$SSIM(x; y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}, \quad (2)$$

где μ_x , μ_y , – это локальные значения, σ_{xy} – стандартные отклонения, а C_1 и C_2 являются стабилизирующими константами.

Результаты аналитического эксперимента по оценке показателя контрастности и индекса структурного сходства представлены в таблице 1.

Таблица 1

Средние показатели качества изображения относительно уровня влажности

Влажность воздуха (%)	Контраст (C)	SSIM
45	0,82	0,98
60	0,76	0,93
70	0,69	0,86
80	0,58	0,79
90	0,51	0,72

Полученные данные демонстрируют устойчивую зависимость между уровнем влажности в теплице и показателями контрастности (С) и индекса структурного сходства.

Немаловажными факторами являются условия образования водяного тумана и выпадения росы, так как влажность воздуха в отрыве от данного показателя не является основополагающим фактором изменения качества изображения [12].

Точка росы – температура, при которой начинается образование конденсата в воздухе с определённой температурой и относительной влажностью [13].

Температура точки росы T_d была рассчитана с использованием приближения Магнуса–Тетенса:

$$T_d = \frac{b \cdot \gamma(T, RH)}{a - \gamma(T, RH)}, \quad (3)$$

где T – температура, °C, RH – относительная влажность в объёмных долях, $a = 17,27$, $b = 237,7$ °C, $\gamma(T, RH) = \frac{aT}{b + T} + \ln\left(\frac{RH}{100}\right)$

Результаты определения точки росы для исследуемых показателей влажности и характерных для тепличных условий температур воздуха, соответствующих 20 °C, 25 °C и 30 °C, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты аналитического определения точки росы

Температура (°C)	Относительная влажность воздуха (%)	Средняя точка росы (°C)
20	45	7,6
	60	12,0
	70	14,2
	80	16,3
	90	18,2
25	45	12,3
	60	16,5
	70	19,3
	80	21,2
	90	23,1
30	45	16,0
	60	21,4
	70	23,7
	80	25,8
	90	28,1

Результаты определения точки росы позволяют выявить условия, при которых возможно образование водяного тумана и выпадения росы. Стоит отметить характерную зависимость между температурой окружающей среды и средней точкой росы, а также более подробно рассмотреть механизм образования тумана и росы, которые имеют различную природу возникновения.

Водяной туман в тепличных условиях может возникать при условиях снижения температуры воздуха и влажности при отсутствии снижения или при незначительном снижении температуры грунта [14]. Контакт холодного и сухого воздуха и теплого влажного грунта приводит к конденсации влаги из почвы и возникновению стойкого тумана [15].

Выпадение росы имеет схожую природу образования, но характеризуется иными изменениями условий окружающей среды. Так, образование росы можно описать следующим образом: воздух может содержать в себе определенное количество влаги, которое зависит от температуры,

чем больше температура, тем больше влаги, соответственно, при снижении температуры избыточное количество влаги выделяется в виде капель жидкости в первую очередь на поверхности более холодных предметов.

Таким образом, точка росы служит не только расчетным параметром, но и точным физическим индикатором, предопределяющим область ухудшения качества изображения, обусловленного прямым воздействием конденсата.

Основная часть. Результаты определения показателей качества изображений, как фактора, являющегося основополагающим для определения состояния культур с помощью систем технического зрения, позволяют сделать вывод о резком снижении качества изображения и получаемых результатов анализа. В свою очередь понимание механизма образования водяного тумана и выпадения росы позволяет сформировать такие требования к периферийному оборудованию и программно-аппаратному комплексу интеллектуальной системы автоматизированного контроля

за ростом и состояние тепличных культур, при которых в случае наблюдения системой условий для образования водяного тумана или росы, полученные снимки будут автоматически исключены из дальнейшего анализа для исключения ложного срабатывания системы и некорректных дальнейших решений оператора или системы.

Дальнейший анализ зависимости показателя контрастности от влажности окружающей среды при соблюдении условий для выпадения росы и образования водяного тумана позволил определить стандартное отклонение и относительное снижение контрастности, представленные в таблице 3.

Таблица 3

Ухудшение контрастности при различных уровнях влажности (при 25°C)

Влажность, %	Контраст, С	Стандартное отклонение	Относительное снижение контрастности (%)
45	0,82	0,011	0
60	0,76	0,012	7,3
70	0,69	0,015	15,9
80	0,58	0,016	29,3
90	0,51	0,018	37,8

Анализ зависимости между относительной влажностью и контрастностью показал, что снижение контрастности является одним из наиболее чувствительных и ранних индикаторов снижения качества изображения под воздействием влаги. Контрастность напрямую отражает разницу яркостей между объектом и фоном, и небольшое ее уменьшение приводит к заметному ухудшению визуальной разделимости структур на изображении. При повышении относительной влажности увеличенная концентрация водяного пара и образование микрокапель на оптических поверхностях приводят к рассеянию света, из-за

чего изображение становится более “плоским” и менее информативным.

Зависимость между влажностью и контрастностью может быть аппроксимирована уравнением регрессии:

$$C = C_0 - k_1 \cdot RH \quad (4)$$

где $C_0 = 0,82$ – базовый контраст в сухих условиях, а $k_1 = 0,0041$ – коэффициент деградации.

Как показано на рисунке 1, контрастность изображения линейно снижается с увеличением влажности, особенно при относительной влажности выше 70 %.

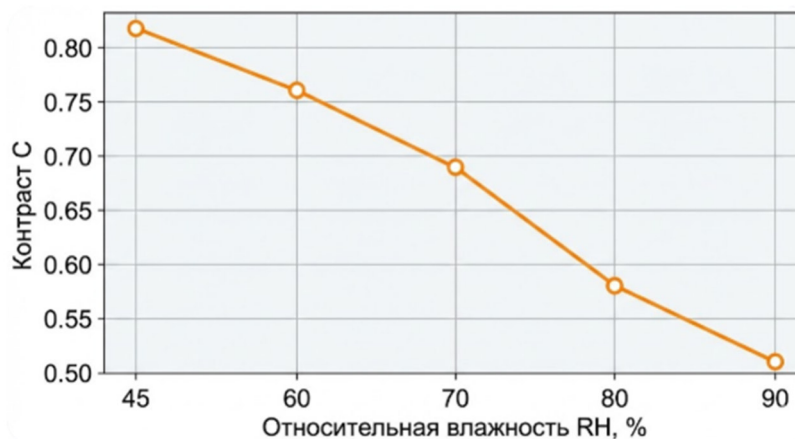


Рис. 1. Зависимость контраста от относительной влажности

Анализ значений индекса структурного сходства, характеризующегося размытием и ис-

кажением цвета, позволил определить стандартное отклонение и относительное снижение SSIM. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4

Изменение индекса SSIM в зависимости от влажности (при 25°C)

Влажность (%)	SSIM	Стандартное отклонение	Относительное снижение SSIM (%)
45	0,98	0,005	0
60	0,93	0,008	5,1
70	0,86	0,010	12,2
80	0,79	0,014	19,4
90	0,72	0,015	26,5

При относительной влажности воздуха до 60 % SSIM оставался выше 0,9, однако, при дальнейшем повышении уровня влажности, он линейно падал до 0,72, что указывает на искажения изображений, потерю детализации текстуры и локальное размытие из-за конденсата.

Зависимость SSIM от влажности была смоделирована с использованием квадратичного полинома:

$$SSIM = a_0 + a_1 RH + a_2 RH^2, \quad (5)$$

где $a_0 = 0,98$, $a_1 = -0,0017$ и $a_2 = -1,6 \cdot 10^{-5}$.

Порог ухудшения восприятия, определенный как $SSIM \leq 0,85$, был достигнут при относительной влажности воздуха $= 73\% \pm 2\%$ (рис. 2).

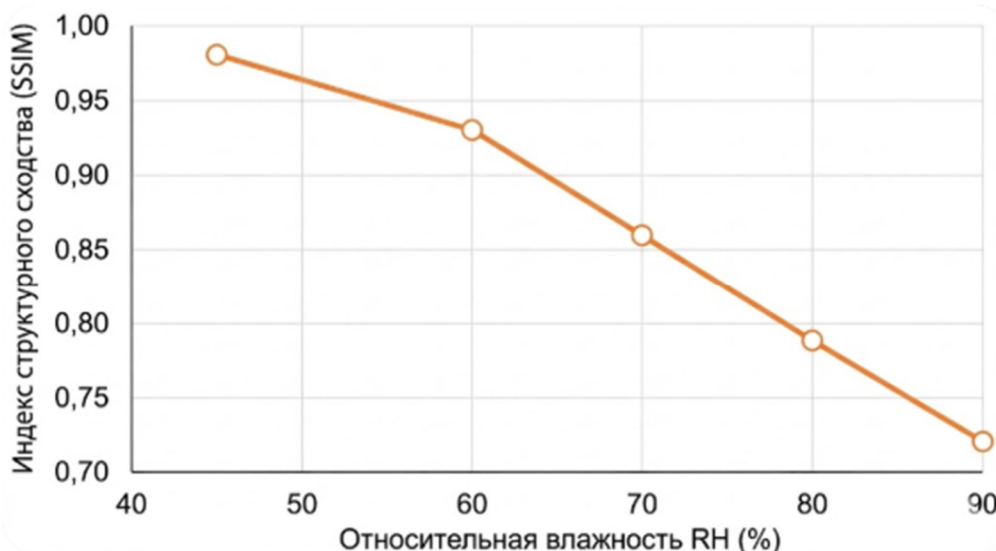


Рис. 2. Зависимость SSIM от относительной влажности

Результаты аналитического исследования продемонстрировали статистически устойчивую корреляцию между моделируемыми условиями влажности в теплице и ухудшением ключевых показателей качества изображения. Коэффициенты корреляции были рассчитаны между относительной влажностью и основными показателями — контрастностью (C) и индексом структурного сходства (SSIM) — с использованием синтетических образцов, что дало значения $R = -0,982$ и $R = -0,938$ соответственно. Эти значения свидетельствуют о том, что даже в вычислительных условиях повышенные параметры влажности оказывают значительное влияние на стабильность качества изображений.

Совокупные результаты демонстрируют, что уровни влажности, превышающие 65–70 %, представляют собой критический предел для большинства систем машинного зрения без внешней защиты от влажности. Сочетание эффектов приводит к искажению качества изображений, получаемых интеллектуальной системой мониторинга и снижению точности обработки изображений.

Выводы. Существует статистически значимая отрицательная корреляция между относительной влажностью воздуха в теплице и ключевыми метриками качества изображения. Повышение влажности с 45 % до 90 % приводит к про-

грессирующему ухудшению изображения: контрастность (C) снижается на 37,8 %, а индекс структурного сходства (SSIM) — на 26,5 %. Коэффициенты корреляции составили $R = -0,982$ для контрастности и $R = -0,938$ для SSIM, что подтверждает устойчивость выявленной зависимости. Определены критические пороговые значения влажности для работы систем машинного зрения. Качественная деградация изображений, при которой SSIM опускается ниже порога восприятия в 0,85, наступает при относительной влажности воздуха около $73\% \pm 2\%$. Для большинства незащищенных систем машинного зрения диапазон влажности выше 65–70 % представляет собой критический предел, за которым существенно снижается точность обработки и анализа изображений. Основным физическим механизмом деградации является образование конденсата (водяного тумана и росы). Точечный анализ условий конденсации с использованием модели точки росы (приближение Магнуса–Тетенса) показал, что именно достижение точки росы, а не абстрактный уровень влажности, является непосредственным индикатором начала ухудшения качества изображения из-за рассеяния света на микрокаплях и искажения оптического пути. Полученные результаты формируют практическую основу для повышения надежности интеллектуальных систем мониторинга. Для обеспечения корректной работы в тепличных

условиях необходимы: аппаратные решения (защита оптических компонентов от конденсата с помощью подогрева, гидрофобных покрытий или герметичных кожухов); программно-алгоритмические меры (разработка алгоритмов, компенсирующих артефакты, вызванные влагой, или автоматически исключающих из анализа изображения, полученные в условиях, благоприятных для конденсации); системные требования (формирование спецификаций по допустимому микроклимату для размещения камер и пороговых значений для принятия решений). Таким образом, исследование количественно обосновывает значимое влияние влажностного режима теплицы на работу систем машинного зрения и предлагает конкретные направления для разработки более экологически устойчивых решений в области точного земледелия.

Источник финансирования. Данная статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы, реализуемой за счет средств федерального бюджета (источник финансирования – Минобрнауки РФ) по теме: «Разработка программного обеспечения в интересах агропромышленного комплекса для мониторинга состояния ботвы и плодов тепличных растений с помощью машинного зрения и искусственного интеллекта» (шифр научной темы FSFM-2025-0002).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Астапов Р.Л., Мухамадеева Р.М. Автоматизация подбора параметров машинного обучения и обучение модели машинного обучения // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 5-2(73). С. 34–37. EDN GJEUNW.
2. Некрасов А.Д. Использование машинного зрения в различных отраслях // Научный Лидер. 2022. № 3(48). С. 28–29. EDN RTACEU.
3. Саватеев С.И., Саватеев В.И., Шлаев В.И., Васильев Д.М. Современные подходы и перспективы развития машинного зрения в промышленности и производстве // Наука сегодня: вызовы, перспективы и возможности : Материалы международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Вологда, 11 декабря 2019 года. Т. Ч. 1. Вологда: ООО "Маркер", 2019. С. 102–104. EDN JBKOGQ.
4. Акулов А.А., Омельченко Н.А., Талдыкин Д.С., Ганжа Н.М. Перспективы и эффективность применения систем машинного зрения в агропромышленном комплексе Российской Федерации // Актуальные проблемы современного общества, науки и образования : сборник статей II Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 августа 2025 года. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2025. С. 14–19. EDN RSFSOQ.
5. Косников С.Н., Газизов Р.Р., Кост А.Е. Искусственный интеллект в управлении сельскохозяйственными операциями: снижение затрат и повышение эффективности производства // Дружковский вестник. 2023. № 3(53). С. 284–293. DOI: 10.17213/2312-6469-2023-3-284-293. EDN BVAWTW.
6. Газеев Е.Д. Применение машинного зрения в сельском хозяйстве // Автоматизированные системы управления и информационные технологии : материалы всероссийской научно-технической конференции, Пермь, 07–09 июня 2024 года. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2024. С. 426–431. EDN QQHPKR.
7. Кузнецов В.А., Смирнов В.В. Применение нейросетей в системах машинного зрения // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей / Самарский государственный технический университет. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. С. 514–516. EDN WOONNA.
8. Щербakov Н.А., Садов А.А. Возможность применения машинного зрения для определения фаз роста растений на примере томатов // Обзор тенденций в агропромышленном комплексе: сборник статей конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Тенденции в АПК», Екатеринбург, 24 октября 2022 года. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2022. С. 99–100. EDN POF SAD.
9. Манукян Р.Л., Петрашин И.В. Машинное зрение. Основные компоненты машинного зрения // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей VII Международной научно-практической конференции: в 4 ч., Пенза, 05 июня 2019 года. Т. Ч. 2. Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2019. С. 295–297. EDN HEJCRG.
10. Яковлева Е.А. Применение технологий машинного зрения в условиях ограниченных ресурсов // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2023): XIII Санкт-Петербургская межрегиональная конференция. Материалы конференции, Санкт-Петербург, 25–27 октября 2023 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления, 2023. С. 303–304. EDN SXCANQ.
11. Рашитов А.Р., Булатасов И.Р. Применение математических методов в машинном зрении // Роль математики в становлении специалиста-2023: материалы Международной научно-практической конференции, Уфа, 18 мая 2023 года.

Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2023. С. 38–50. EDN VSASDS.

12. Богданов Л.А. Машинное зрение и распознавание изображений // Академическая наука - проблемы и достижения, North Charleston, SC, USA, 07–08 июля 2014 года / н.-и. ц. «Академический». Т. 2. North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2014. С. 119. EDN SWGEHH.

13. Пономарев А.Н., Казанцева Л.В. Машинное зрение: актуальность и применение // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 4. С. 100–102. EDN VGJJVW.

14. Ситников В.В., Люминарский В.В., Коробейников А.В. Обзор методов распознавания

объектов, используемых в системах машинного зрения // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2018. Т. 21, № 4. С. 222–229. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-4-222-229. EDN YTZICT.

15. Хуснуллин А.А. Технологии машинного зрения: от распознавания лиц до контроля качества на производстве // Молодежь и XXI век - 2025: Сборник научных статей 14-й Международной молодежной научной конференции. В 5-ти томах, Курск, 20–21 февраля 2025 года. Курск: ЗАО "Университетская книга", 2025. С. 435–438. EDN BAJROC.

Информация об авторах

Акулов Алексей Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Детали машин и теории механизмов». E-mail: a.akulov.98@mail.ru. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.

Подгорный Артем Велимирович, преподаватель кафедры «Детали машин и теории механизмов». E-mail: pavtxt@mail.ru. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.

Талдыкин Дмитрий Сергеевич, ассистент кафедры «Детали машин и теории механизмов». E-mail: dima.dima.taldykin@mail.ru. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.

Логанов Никита Витальевич, ассистент кафедры «Детали машин и теории механизмов». E-mail: nikita.loganov.2001@yandex.ru. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64.

Поступила 16.12.2025 г.

© Акулов А.А., Подгорный А.В., Талдыкин Д.С., Логанов Н.В., 2026

**Akulov A.A., Podgorny A.V., Taldykin A.A., Loganov N.V.
Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University
E-mail: a.akulov.98@mail.ru

IMPACT OF THE GREENHOUSE MICROCLIMATE ON IMAGE QUALITY IN MACHINE VISION SYSTEMS

Abstract. This study presents a quantitative analysis of the influence of air humidity on key image quality metrics: contrast (C) and the structural similarity index (SSIM). The methodology involved the artificial degradation of reference images to simulate the effects of condensation (dew, water mist) at humidity levels of 45–90 %. The results demonstrate a statistically significant negative correlation: as humidity increases to 90 %, contrast decreases by 37.8 %, and SSIM decreases by 26.5 % relative to baseline values. It was established that the threshold for significant perceptual degradation ($SSIM \leq 0.85$) is reached at a relative humidity of approximately 73 %. The research defines a critical humidity limit (65–70 %) for the impaired operation of unprotected machine vision systems and substantiates the necessity of developing compensation algorithms or exclusion protocols for moisture-induced artifacts to ensure the reliability of precision agriculture systems. The study's findings form a theoretical basis for establishing requirements for optical hardware protection, image preprocessing algorithms, or rules for discarding data acquired under condensation-prone conditions, which is essential for ensuring the environmental robustness and accuracy of automated monitoring systems in the agro-industrial complex.

Keywords: machine vision, greenhouse microclimate, humidity, image quality, condensation, precision agriculture, environmental robustness

REFERENCES

1. Astapov R.L., Mukhamadeeva R.M. Automation of selection of machine learning parameters and training of a machine learning model [Avtomatizatsiya podbora parametrov mashinnogo obucheniya i obuchenie modeli mashinnogo obucheniya]. Aktual'nye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire. 2021. No. 5-2(73). Pp. 34–37. EDN GJEUNW. (rus)
2. Nekrasov A.D. The use of machine vision in various industries [Ispol'zovanie mashinnogo zreniya v razlichnyh otraslyah]. Nauchnyj Lider. 2022. No. 3(48). Pp. 28–29. EDN RTACEU. (rus)
3. Savateev S.I., Savateev V.I., Shlaev V.I., Vasiliev D.M. Modern approaches and prospects for the development of machine vision in industry and production [Sovremennye podhody i perspektivy razvitiya mashinnogo zreniya v promyshlennosti i proizvodstve]. Nauka segodnya: vyzovy, perspektivy i vozmozhnosti: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. V 2-h chastyah, Vologda, December 11, 2019 Vol. Part 1. Vologda: "Marker" LLC. Pp. 102–104. EDN JBKOGQ. (rus)
4. Akulov A.A., Omelchenko N.A., Taldykin D.S., Ganzha N.M. Prospects and effectiveness of using machine vision systems in the agro-industrial complex of the Russian Federation [Perspektivy i effektivnost' primeneniya sistem mashinnogo zreniya v agropromyshlennom komplekse Rossijskoj Federacii]. ACTUAL problems of MODERN SOCIETY, SCIENCE and EDUCATION: collection of articles of the II International scientific-practical conference, Penza, August 20, 2025. Penza: Nauka i Prosveshchenie (IP Gulyaev G.Yu.), 2025. Pp. 14–19. EDN RSFSOQ. (rus)
5. Kosnikov S.N., Gazizov R.R., Kost A.E. Artificial intelligence in the management of agricultural operations: cost reduction and production efficiency improvement [Iskusstvennyj intellekt v upravlenii sel'skohozyajstvennymi operacijami: snizhenie zatrat i povyshenie effektivnosti proizvodstva]. Drukerovskij vestnik. 2023. No. 3(53). Pp. 284–293. DOI 10.17213/2312-6469-2023-3-284-293. EDN BVAWTW. (rus)
6. Gazeev E.D. Application of machine vision in agriculture [Primenenie mashinnogo zreniya v sel'skom hozyajstve]. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii : materialy vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii, Perm', June 7–9, 2024. Perm: Perm National Research Polytechnic University, 2024. Pp. 426–431. EDN QQHPKR. (rus)
7. Kuznecov V.A., Smirnov V.V. Application of neural networks in machine vision systems [Primenenie nejrosetej v sistemah mashinnogo zreniya]. Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'nye tekhnologii: sbornik statej. Samarskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. Samara: Samarskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2017. Pp. 514–516. EDN WOOHNA. (rus)
8. Shcherbakov N.A., Sadov A.A. Possibility of using machine vision to determine plant growth phases on the example of tomatoes [Vozmozhnost' primeneniya mashinnogo zreniya dlya opredeleniya faz rosta rastenij na primere pomidorov]. Obzor tendencij v agropromyshlennom komplekse : sbornik statej konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh «Tendencii v APK», 24 October 2022. Yekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2022. Pp. 99–100. EDN POFSAD. (rus)
9. Manukyan R.L., Petrashin I.V. Machine vision. Main components of machine vision [Mashinnoe zrenie. Osnovnye komponenty mashinnogo zreniya]. Modern science: actual issues, achievements and innovations: collection of articles of the VII International scientific and practical conference: in 4 parts, Penza, June 05, 2019. Vol. Part 2. Penza: "Nauka i Prosveshchenie" (IP Gulyaev G.Yu.), 2019. Pp. 295–297. EDN HEJCRG. (rus)
10. Yakovleva E.A. Application of machine vision technologies in conditions of limited resources [Primenenie tekhnologij mashinnogo zreniya v usloviyah ogranichennyh resursov]. Information security of the regions of Russia (IBRR-2023): XIII St. Petersburg Interregional Conference. Conference proceedings, St. Petersburg, October 25–27, 2023. St. Petersburg: St. Petersburg Society of Informatics, Computer Engineering, Communication and Control Systems, 2023. Pp. 303–304. EDN SXCAHQ. (rus)
11. Rashitov A.R., Bulatasov I.R. Application of mathematical methods in machine vision [Primenenie matematicheskikh metodov v mashinnom zrenii]. The role of mathematics in the formation of a specialist-2023: materials of the International scientific and practical conference, Ufa, May 18, 2023. Ufa: Ufa State Petroleum Technological University, 2023. Pp. 38–50. EDN VSASDS. (rus)
12. Bogdanov L.A. Machine vision and image recognition [Mashinnoe zrenie i raspoznavanie izobrazhenij]. Akademicheskaya nauka - problemy i dostizheniya, North Charleston, SC, USA, 07–08 July 2014 / Research Center «Akademicheskij». Vol. 2. North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2014. P. 119. EDN SWGEHH. (rus)
13. Ponomarev A.N., Kazanceva L.V. Machine vision: relevance and application [Mashinnoe zrenie: aktual'nost' i primeneniye]. Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya. 2021. No. 4. Pp. 100–102. EDN VGJJVW. (rus)
14. Sitnikov V.V., Lyuminarskij V.V., Korobojnikov A.V. Overview of object recognition methods used in machine vision systems [Obzor metodov raspoznavaniya ob'ektov, ispol'zuemyh v sistemah mashinnogo zreniya]. Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova. 2018. Vol. 21, No. 4. Pp. 222–229.

DOI 10.22213/2413-1172-2018-4-222-229. EDN YTZICT. (rus)

15. Khusnullin A.A. Machine vision technologies: from face recognition to quality control in production [Tekhnologii mashinnogo zreniya: ot raspoznavaniya lic do kontrolya kachestva na pro-

izvodstve]. Youth and the XXI century - 2025: Collection of scientific articles of the 14th International youth scientific conference. In 5 volumes, Kursk, February 20–21, 2025. Kursk: "Universitetskaya kniga" CJSC, 2025. Pp. 435–438. EDN BAJPOC. (rus)

Information about the authors

Akulov, Alexey A. PhD. E-mail: a.akulov.98@mail.ru. Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI). 64 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125319, Russia.

Podgorny, Artyom V. Lecturer. E-mail: pavtxt@mail.ru. Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI). 64 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125319, Russia.

Taldykin, Dmitry S. Assistant of the Department E-mail: dima.dima.taldykin@mail.ru. Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI). 64 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125319, Russia.

Loganov, Nikita V. Assistant of the Department. E-mail: nikita.loganov.2001@yandex.ru. Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI). 64 Leningradsky Prospekt, Moscow, 125319, Russia.

Received 16.12.2025

Для цитирования:

Акулов А.А., Подгорный А.В., Талдыкин Д.С., Логанов Н.В. Влияния тепличного микроклимата на качество изображений в системах машинного зрения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 1. С. 133–141. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-1-133-141

For citation:

Akulov A.A., Podgorny A.V., Taldykin A.A., Loganov N.V. Impact of the greenhouse microclimate on image quality in machine vision systems. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 1. Pp. 133–141. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-1-133-141