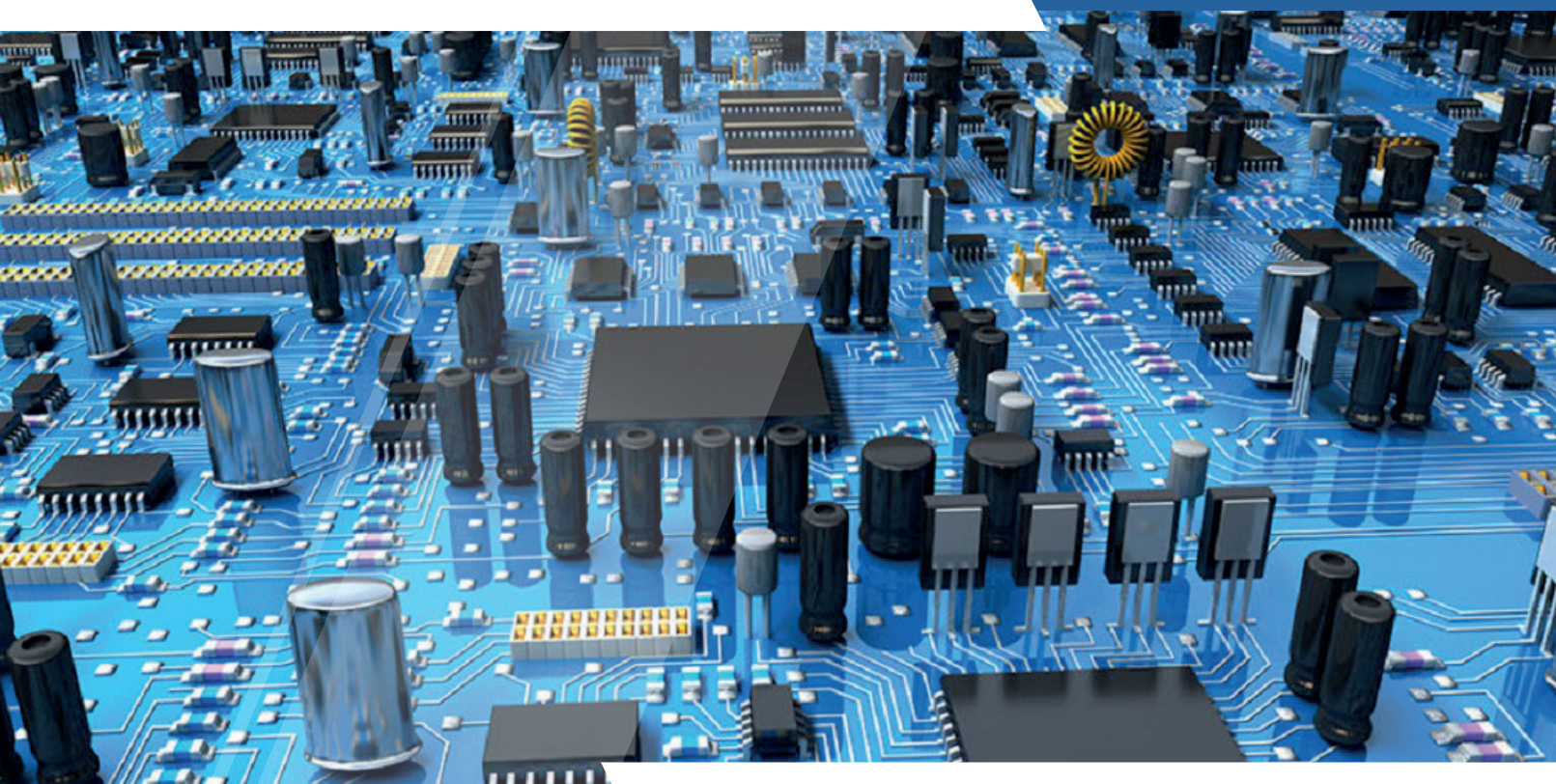


3⁽¹⁹⁾ | РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ ОТРАСЛЬ: 2025 | ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО, ИСПЫТАНИЯ
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ



Литература

1. Datasheet. 70T633/1S High-Speed 2.5V 512/256K x 18 Asynchronous Dual-Port Static RAM // 2019 Renesas Electronics Corporation/.
2. Глудкин О.П. «Технология испытания микроэлементов радиоэлектронной аппаратуры и интегральных микросхем» / Глудкин О.П., Черняев В.Н. // Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
3. Погосов Г.С. «Вопросы обеспечения качества проведения испытаний электронной компонентной базы. Требования к измерительной оснастке». / Погосов Г.С.// Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2021 № 1 С. 33-34.
4. Яньков А.И. «Расчет радиационных эффектов в элементной базе». / Яньков А.И., Зольников К.В. // Моделирование систем и процессов. 2010. № 1-2. С. 91-99.

УДК: 004.93

КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**KEY BENEFITS OF COMPUTER VISION IN INDUSTRY**

Дормидошина Д.А. заместитель генерального директора, эксперт по стандартизации, АО «ЦКБ «Дейтон»
+7 (925) 104-77-96, dormidoshina@deyton.ru

Dormidoshina D.A. deputy General Director, expert on standardization, JSC "Central Design Office "Deyton"
+7 (925) 104-77-96, dormidoshina@deyton.ru

Аннотация: Статья посвящена роли компьютерного зрения в современном производстве, где оно решает задачи автоматизации контроля качества, снижения затрат и минимизации влияния человеческого фактора. Рассмотрены ключевые преимущества технологии, включая высокую точность, оперативность и интеграцию в производственные процессы. Описаны основные компоненты системы, такие как аппаратное обеспечение, алгоритмы обработки изображений и этапы анализа данных. Особое внимание уделено экономической выгоде внедрения компьютерного зрения, включая повышение выхода годной продукции и сокращение издержек. В заключении подчеркивается перспективность технологии в сочетании с искусственным интеллектом и интернетом вещей, что открывает новые возможности для автоматизации промышленности.

Annotation. The article is devoted to the role of computer vision in modern production, where it solves the problems of automating quality control, reducing costs and minimizing the influence of the human factor. The key advantages of the technology are considered, including high accuracy, efficiency and integration into production processes. The main components of the system, such as hardware, image processing algorithms and data analysis stages are described. Particular attention is paid to the economic benefits of implementing computer vision, including increasing the yield of good products and reducing costs. The conclusion emphasizes the prospects of the technology in combination with artificial intelligence and the Internet of Things, which opens up new opportunities for industrial automation.

Ключевые слова: изделие, дефект, брак, компьютерное зрение.

Keywords: product, defect, computer vision.

Научная специальность: 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры.

Введение

Современное производство сталкивается с возрастающими требованиями к точности, скорости и качеству выпускаемой продукции. В условиях высокой конкуренции и сложных технологических процессов предприятия вынуждены искать инновационные решения для оптимизации производства. Одним из таких решений стало внедрение компьютерного зрения – технологии, которая позволяет автоматизировать контроль качества, минимизировать человеческий фактор и значительно сократить издержки.



Дормидошина Д.А.

Компьютерное зрение, основанное на алгоритмах машинного обучения и обработки изображений, имитирует способность человека видеть и анализировать визуальную информацию, но с гораздо большей скоростью и точностью [1]. Эта технология находит применение в самых разных отраслях – от электроники и машиностроения до пищевой промышленности и медицины. Её ключевое преимущество заключается в способности обнаруживать даже незначительные дефекты, которые могут быть незаметны при визуальном осмотре, а также в возможности интеграции в существующие производственные линии без масштабной реконструкции.

Развитие компьютерного зрения тесно связано с прогрессом в области искусственного интеллекта (AI), больших данных (Big Data) и интернета вещей (IoT). Сегодня системы на основе этой технологии не только фиксируют отклонения, но и прогнозируют возможные сбои в производственном процессе, что позволяет предотвращать брак до его возникновения. Кроме того, они обеспечивают сбор и анализ статистических данных, что помогает предприятиям принимать обоснованные управленческие решения.

Однако внедрение компьютерного зрения требует тщательной подготовки, включая выбор подходящего оборудования, разработку специализированного программного обеспечения и обучение персонала. Несмотря на первоначальные затраты, инвестиции в эту технологию быстро окупаются за счёт снижения себестоимости продукции, увеличения выхода годных изделий и улучшения репутации компании на рынке.

В данной статье рассматриваются принципы работы компьютерного зрения, его преимущества для современного производства, а также практические аспекты внедрения этой технологии. Особое внимание уделено экономической эффективности и перспективам дальнейшего развития, включая интеграцию с другими инновационными решениями. Материал основан на актуальных исследованиях и реальных кейсах, демонстрирующих успешное применение компьютерного зрения в промышленности.

Основная часть

Роль компьютерного зрения в современном производстве

На этапах изготовления продукции предприятия сталкиваются с проблемой оптического контроля качества поверхностей и отбраковки изделий.

Компьютерное зрение обеспечивает автоматизированную оптическую инспекцию по обнаружению дефектов на поверхностях изделий и повышение выхода доли годных изделий на этапах межоперационного, выходного и входного контроля.

Использование компьютерного зрения позволяет существенно снизить затраты – и временные, и финансовые.

Основные преимущества компьютерного зрения включают в себя:

- высокую точность контроля качества – более 90 % годных изделий, что значительно превышает показатели традиционных методов контроля;

- исключение человеческого фактора – автоматизация процессов снижает вероятность ошибок, связанных с усталостью или невнимательностью операторов;

- оперативность – контроль качества в реальном времени позволяет своевременно вносить корректировки в технологический процесс, предотвращая появление брака;

- гибкость и интеграцию – системы компьютерного зрения могут быть интегрированы в существующие производственные линии, системы автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП) и системы управления производственными ресурсами (MES).

Компьютерное зрение обеспечивает не только обнаружение дефектов, но и оценку их размеров, классификацию по типам дефектов, ведение статистики, а также сохранение и выдачу результатов работы за заданный период с возможностью распечатки отчетов. Помимо контроля плоских поверхностей, с помощью компьютерного зрения может осуществляться инспекция элементов сложной формы, при этом в систему дефектоскопии интегрируются эндоскопы, волоконно-оптические световоды и системы управления механизмами поворота деталей. С помощью одной системы может быть организован комбинированный выходной контроль качества: измерения размеров, проверка сборки изделия, отсутствия внешних дефектов.

Компьютерное зрение обеспечивает:

- оценку формы изделия, бесконтактное измерение геометрических параметров изделий: линейных размеров; координат центров отверстий и их диаметров; углов между гранями и ребрами;

- обнаружение дефектов на поверхности.

Специализированное программное обеспечение производит сверку полученных данных с чертежами (геометрическими моделями) и выявляет отклонения.

При использовании компьютерного зрения отпадает необходимость выбора точки отсчета, облегчаются перпендикулярные и параллельные измерения, резко возрастает точность всех измерений. Программное обеспечение обеспечивает выявление геометрических отклонений, а также раковин, трещин, коррозии и прочих дефектов. Компьютерное зрение позволяет оперативно выявлять и устранять дефекты, корректировать размеры и проводить другие мероприятия, направленные на повышение качества изделий.

Компьютерное зрение очень похоже на наше человеческое зрение – системе нужно увидеть объект,

обработать изображение, получив с него нужную информацию, и далее управлять процессом. Если говорить в терминах, то «машинное зрение» [2, 3] – это одна из областей компьютерного зрения, нацеленная на решение промышленных задач с целью автоматизации, роботизации и аналитики. Совмещая в себе многие науки из оптики, фотоэлектроники, микропроцессорной техники, программирования и глубокого обучения машинное зрение является высокотехнологичным направлением развития искусственного интеллекта [4].

Компьютерное зрение обладает множеством преимуществ, по сравнению с традиционными методами визуального контроля, но его организация требует существенных вложений и является экономически оправданной лишь тогда, когда имеется перспектива быстрой окупаемости:

- массовое производство, требующее сквозного входного и выходного контроля и, как следствие, большого числа измерений;

- производство уникальных изделий сложной формы, также требующее множества измерений, несмотря на небольшое число продукции.

Основные составляющие компьютерного зрения

Компьютерное зрение – достаточно молодая (ее возникновение можно отнести к 1950 годам [5]) и быстро развивающаяся область научных и прикладных исследований, основной целью которых является построение систем, способных «видеть», то есть извлекать из изображений информацию об объектах внешнего мира, полезную для дальнейшего использования в рамках какого-либо приложения [6]. При этом обработка видеoinформации осуществляется на универсальных или специализированных компьютерах.

Основные составляющие компьютерного зрения и их описание:

- свет: для того чтобы что-то увидеть человеку нужен свет, камерам компьютерного зрения тоже нужна качественная подсветка объекта съемки. Подсветка – источник света, он же источник информации для камеры. Без качественного света трудно добиться результата от системы компьютерного зрения. Используют как белый 5000K, так и цветные источники, УФ, ИК, SWIR и мультиспектральные, лазерные – проецирующие линию, сетку, точки и т. д.;

- оптика: у человека есть от природы глаза, позволяющие сфокусироваться на объекте – у камеры это промышленный объектив, который необходимо «навести» на исследуемое изделие. Оптика – это подходящий под камеру объектив на нужное фокусное расстояние, может быть с изменяемой фокусировкой (жидкой линзой или приводом). Светофильтры позволяют обрезать неиспользуемые спектры излучения, затонировать изображение, убрать блики с поверхности и т. д.;

- камера: за чувствительность к свету и цвету у человеческого глаза отвечает сетчатка, в промышленной видеокамере – матрица из фотоэлементов (сенсор или светочувствительная пластина), которая установлена внутри камеры. Одна или несколько камер передает несжатую картинку высокого качества. Камеры могут иметь различные сенсоры: линейный или матричный, ToF, цветной, монохромный, 3D и т. д. Она всегда содержит ПЛИС – организующая работу камеры, позволяющая корректировать кадр, производить съемку, управлять светом и многое другое;

- датчик синхронизации – источник импульса для съемки камеры или «триггер», обычно это оптические ворота или индукционный датчик. Также устанавливают энкодеры для бесшовной съемки;

- компьютер: у человека сигнал от глаза должен перейти в мозг по зрительному нерву, в компьютерном зрении эту функцию выполняет кабель и промышленный компьютер – переносит изображение с камеры далее в программную среду. В компьютерном зрении может применяться специальная версия ПК в безвентиляторном исполнении с компонентами промышленного класса и с питанием от 12 до 24 В;

- программное обеспечение: в случае человека – его мозг, который с рождения обучается различать предметы, в промышленных задачах – это специализированное программное обеспечение, которое с использованием алгоритмов высшей математики и нейронных сетей находит на изображении нужную информацию. С помощью программного обеспечения происходит анализ изображения, используя библиотеки компьютерного зрения или готовые решения;

- управление: далее нужно управлять процессом на основе увиденного – наш мозг для этого начинает управлять руками/ногами для переключения режима работы установки, а компьютер компьютерного зрения через промышленные интерфейсы передает нужную команду. Специальные кабели-камеры обычно имеют интерфейсы USB, Ethernet, CoaXPress – для них используются кабели промышленного исполнения с усиленным экраном и вибростойкостью. Оборудование ввода-вывода – это могут быть как платы I/O, так и различные промышленные интерфейсы CAN, FieldBUS, ProfiNET, COM и т. д., соединяемые с исполнительными устройствами, сетевые карты или платы видеозахвата – так как камеры компьютерного зрения передают большой объем данных, используются специальные серверные Ethernet платы, а также frame-grabber для интерфейсов CoaXPress, CLHS и CameraLink;

- монитор или сетевые интерфейсы для контроля за работоспособностью комплекса и выбора режима работы;

- время процесса: у человека (бодрого и отдохнувшего) данные действия занимают более секунды,

в компьютерном зрении на все операции выделяется не более 50 мс. Все процессы происходят автоматически, на больших скоростях. Сценарии и условия работы могут быть совершенно различными – компьютерное зрение представляет множество решений для промышленных задач.

Некоторые элементы могут быть исключены или совмещать в себе сразу несколько пунктов, например, лазерные 3D сканеры не требуют подсветки, а смарт-камеры способны обработать изображение внутри себя без использования внешнего ПК.

Основные компоненты компьютерного зрения включают в себя:

- захват изображения: процесс получения изображений с помощью различных устройств, таких как камеры или сканеры, который служит отправной точкой для анализа;
- предобработка изображений: этап, на котором изображения очищаются и подготавливаются для дальнейшего анализа. Это может включать фильтрацию шума, коррекцию освещения и изменение размера;
- извлечение признаков: процесс выделения ключевых характеристик из изображений, таких как границы, текстуры и формы, что позволяет облегчить последующий анализ;
- классификация: этап, на котором объекты на изображении идентифицируются и классифицируются с использованием алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта;
- сегментация: процесс разделения изображения на отдельные области или объекты, что позволяет более точно анализировать содержимое;
- анализ и интерпретация: заключительный этап, на котором извлеченные данные анализируются для получения полезной информации или принятия решений на основе результатов.

Каждый из этих компонентов играет важную роль в создании эффективных систем компьютерного зрения.

Экономическая выгода компьютерного зрения для современного производства

Стоимость компьютерного зрения зависит от производственных задач [7, 8]: от считывания штрихкодов до узкоспециализированных проверок качества изделий и своевременного обнаружения неисправностей и брака.

Внедрение компьютерного зрения состоит из двух частей – выбора и установки аппаратной части и написания программного обеспечения. В качестве аппаратной части в основном используются камеры, но могут применяться и лидары, радары и другие датчики. В качестве ПО – набор нейросетевых алгоритмов и машинное обучение [9] для распознавания и обнаружения объектов, дефектов и др. Обнаружение дефектов в конце производственного процесса или

после доставки заказчику приводит к увеличению производственных затрат. Эти потери сравнительно намного выше, чем стоимость внедрения системы обнаружения дефектов КЗ на базе искусственного интеллекта. Приложение на базе компьютерного зрения собирает данные в реальном времени с камер и с помощью алгоритмов машинного обучения, анализирует потоки данных и на основе заранее определенных стандартов качества обнаруживает дефекты и предоставляет процент отклонения. На основе таких данных можно проследить сбой в производственном процессе. Также компьютерное зрение позволит:

- повысить уровень выпуска годных изделий до 96 %, (в настоящее время на некоторых предприятиях–изготовителей изделий – составляет менее 45 %);
- уменьшить материальные затраты на выпуск продукции до 20 %;
- сократить время на изготовление изделий до 40 %;
- обеспечить проведение анализа работы технологического оборудования изготовителя на предмет определения причин, вызывающих брак;
- обеспечить своевременную поставку потребителям требуемого объема качественной продукции, получение репутации надежного производителя и поставщика.

Парадигма компьютерного зрения: дорогая система с множеством функций будет долго окупаться, если ее возможности не будут востребованы в условиях существующего производственного процесса, и наоборот – бюджетное устройство может не справиться с поставленными задачами. Для решения задач необходимо провести маркетинговые исследования, сопоставить производственные проекты с функциональностью систем, рассчитать капитальные вложения и период окупаемости.

Заключение

Внедрение компьютерного зрения в процессы контроля качества изделий электронной техники представляет собой значительный шаг вперед в автоматизации производства. Как показано в статье, использование компьютерного зрения позволяет не только повысить точность и скорость контроля, но и значительно снизить влияние человеческого фактора, что особенно важно в условиях массового производства и изготовления изделий.

Кроме того, компьютерное зрение предоставляет дополнительные возможности, такие как классификация дефектов, ведение статистики и автоматическая генерация отчетов, что упрощает анализ производственных процессов и позволяет оперативно реагировать на возникающие проблемы.

Однако внедрение компьютерного зрения требует значительных инвестиций как в аппаратное обеспечение (камеры, датчики, компьютеры), так и в разработку специализированного программного обеспе-

чения. Экономическая эффективность таких систем зависит от масштабов производства и сложности задач, которые необходимо решить. В условиях массового производства или при изготовлении уникальных изделий, где требуется большое количество измерений, внедрение компьютерного зрения может быть экономически оправданным и быстро окупаемым.

Важно отметить, что успешное внедрение компьютерного зрения требует тщательного анализа производственных процессов, выбора подходящих технологий и оборудования, а также разработки эффективных алгоритмов обработки изображений. В этом контексте ключевое значение имеют маркетинговые исследования и расчеты капитальных вложений, которые позволят определить оптимальные решения для конкретного предприятия.

В заключении можно отметить, что компьютерное зрение является мощным инструментом для повышения качества продукции, снижения затрат и увеличения производительности. Его применение открывает новые возможности для автоматизации производства, особенно в условиях растущих требований к точности и сложности изделий. В будущем, с развитием технологий искусственного интеллекта и машинного обучения [10], компьютерное зрение станет еще более эффективным и доступным, что позволит еще больше ускорить процессы автоматизации в различных отраслях промышленности.

С развитием технологий искусственного интеллекта и машинного обучения, компьютерное зрение будет становиться все более точным и адаптивным. Уже сегодня активно разрабатываются алгоритмы, способные не только обнаруживать дефекты, но и предсказывать их появление на основе анализа данных с производственных линий. Это открывает новые возможности для контроля качества и оптимизации производственных процессов.

Кроме того, интеграция компьютерного зрения с другими технологиями, такими как интернет вещей (IoT) и большие данные (Big Data), позволит создавать более сложные и интеллектуальные системы управления производством. Это может привести к созданию полностью автономных производственных линий, где все процессы, от контроля качества до управления оборудованием, будут осуществляться автоматически с минимальным вмешательством человека.

Таким образом, компьютерное зрение не только решает текущие задачи контроля качества, но и от-

крывает новые горизонты для развития промышленности, делая производство более эффективным, гибким и конкурентоспособным.

Литература

1. Рубцов Ю.В., Малышев В.Э., Назаренко А.А. «Автоматизированный визуальный контроль качества изделий микроэлектроники методом сравнения шаблонов» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024. № 1. С. 18-21.
2. Павлова А. «Машинное зрение повышает эффективность производственных процессов» // Российская газета – 2022 – URL: <https://rg.ru/2022/09/21/etot-glaz-vsegda-almaz.html?ysclid=m8hckytw6k868669844> (дата обращения: 23.06.2025).
3. 8 кейсов использования компьютерного зрения на производстве // Smartgopro – 2021 – URL: <https://smartgopro.com/novosti2/computervision/?ysclid=lu0vomskkn939165244> (дата обращения: 15.06.2025).
4. Брокман Д. «Что мы думаем о машинах, которые думают: Ведущие мировые учёные об искусственном интеллекте» // М.: Альпина нон-фикшн, 2017. 548 с.
5. Dobson J. E. The Birth of Computer Vision // Univ Of Minnesota Press. 2023. 224 p.
6. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. «Компьютерная обработка и распознавание изображений» // Учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО. 2008. 195 с.
7. Булгаков О.Ю. «Научно-методический подход к обоснованию постановки научной задачи развития радиоэлектронной промышленности и её подсистем» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2024. № 1. С. 10-15.
8. Булгаков О. Ю., Лепешкин А. В., Осипова Е. М. «Совершенствование системы оценки соответствия и подтверждения качества электронной продукции» // Радиоэлектронная отрасль: проблемы и их решения. 2023. № 2. С. 28-31.
9. Samuel A. Early Machine Learning and Checkers Program // Robots Authority – 2024 – URL: <https://robotsauthority.com/arthur-samuel-early-machine-learning-and-checkers-program/> (дата обращения: 15.06.2025).
10. Turing A. M. Computing Machinery and Intelligence // Mind, New Series, Oxford University Press. 1950. № 236. Pp. 433–460.