

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ УГОЛЬНЫХ КАРЬЕРОВ

Аннотация: В статье проводится современное состояние техники и технологий в области автономного управления движением транспортных средств угольных карьеров. Показаны основные производители беспилотной карьерной техники. Приводятся системы автономного управления движением транспортных средств угольных разрезов. Сделаны выводы об основных элементах и компонентах автономного управления карьерными самосвалами.

Ключевые слова: беспилотный карьерный самосвал, производительность, добыча полезных ископаемых.

Информация о статье: принята 18 декабря 2019 г.

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-6-8-15

В настоящее время наращивается дорожная инфраструктура из увеличения транспортных средств. Параллельно с этим для повышения безопасности дорожного движения разрабатывались различные системы управления движением, пропускной способности дорог и комфорта движения [1÷11].

На сегодняшний день в мире отсутствуют кабинные автономные тяжёлые самосвалы, применяемые добывающими компаниями, в серийных исполнениях. Имеются лишь прототипы-аналоги и многие компании в России и мире занимаются НИОКР по созданию подобной автотехники. Ниже рассмотрим некоторые проекты, реализуемые в мире.

Компанией Caterpillar в 1996 году представлен первый беспилотный карьерный самосвал. Уже более 20 лет растёт спрос на роботизированную технику. «Беспилотники» (рис. 1) взаимодействуют с любой управляемой человеком техникой – грейдерами, погрузчиками, автоцистернами, бульдозерами и др. Управление всеми операциями выполняется с помощью системы CatMineStar. Caterpillar в 2000 году разработали роботизированные самосвалы грузоподъемностью 240 тонн. Беспилотная техника Caterpillar показала на 20% большую эффективность эксплуатации по сравнению с традиционными машинами, а производительность составила невероятные 99,95%, поскольку эти машины не простаивали и трудились, в среднем, на 2,5 часа больше, чем их обычные собратья, управляемые людьми.

Японская компания Komatsu уже достаточно давно ведёт разработку грузовых автомобилей-роботов и другой автоматизированной тяжелой строительной техники. Начиная с 2008 года, компания Komatsu, совместно с RioTinto производит испытания автоматической транспортной системы Autonomous Haulage Systems (AHS). За все время опытной эксплуатации системы AHS беспилотные самосвалы Komatsu 930E, используемые компанией RioTinto, перевезли сотни миллионов тонн



Рис. 1. Самосвал Caterpillar
Fig. 1. Caterpillar Dumper



Рис. 2. Самосвал Komatsu
Fig. 2. Komatsu Dumper

материала на горных выработках в Чили и в Австралии.

Инженеры компании Komatsu создали систему управления беспилотными моделями техники (рис. 2), которая будет работать с помощью подключения к LTE сетям. Новинка уже успешно прошла испытания на одном из полигонов в Америке, а именно в Тусоне, штат Аризона. Тесты длились целый год, за это время FrontRunner AHS (так называется разработка) показала себя с лучшей стороны.

Komatsu заверяет, что с помощью их автоматизированных нововведений удастся добиться конвейерной точности при транспортировке различного рода земляных пород и ископаемых. В Komatsu считают, что связи четвертого поколения значительно увеличивает качество системы. Это позволит избавиться от минусов дополнительного метода контролирования рабочего процесса через Wi-Fi сеть. Автономное управление Front Runner предполагает, что все спецмашины по умолчанию будут иметь шкаф контроля оборудованный: возможностью подключения к Wi-Fi и LTE, полным комплектом гироскопов, радаром и лазерами. Данное оборудование не считается опцией, а будет устанавливаться стандартно на самосвалы бренда, но есть возможность и заказать данные технические преимущества на уже имеющуюся технику. В Японии уверены, что использование 4G связей очень сильно увеличит показатель надежности системы управления, и уменьшит количество аварийных ситуаций. В будущем планируется применить опыт компании на другой продукции из своего ассортимента спецтехники.

Volvo представил электрический «беспилотник» VolvoAktiebolaget (рис. 3). В конце августа 2019 подразделения VolvoTrucks приступило к тестированию новинок беспилотной тяжелой техники – 8 карьерных 15-тонных электросамосвалов HX2, 70-тонного экскаватора EX1 и погрузчика LX1 с гибридным двигателем.

Испытания проходят в Швеции, в карьере Викан-Кросс (Гетеборг). Согласно проекту, будет создан автоматизированный процесс разработки – добыча, дробление, перевозка сырья. Роботы оснащены аккумуляторами, силовой электроникой и специальной технологией, способной распознавать разные препятствия. В ходе испытаний инженеру должны решить следующие задачи – как снизить на 25% эксплуатационные расходы, сделать технику экономной, доступной и уменьшить уровень вредных выбросов.

БЕЛАЗ и российская компания «ВИСТ Групп» показали в 2010 году первый карьерный самосвал, которому не нужен водитель. Проект назвали «Интеллектуальный карьер». Машиной управляли дистанционно. Оператор находился в отдельно стоящем здании и рулил грузовиком сидя за пультом управления. В 2013–2015 годах на белорусском полигоне, который находится при заводе, успешно прошел испытание 130-тонный роботизированный самосвал. Он сам, без водителя и оператора, двигался по заданной траектории. А 10 июля 2018 года на том же полигоне прошли испытания погрузчика. При этом управляли им из Екатеринбурга, за 2500 км.

На БЕЛАЗе уверены [13], что за роботами будущее. То есть самосвалы будут полностью беспилотными. Пока же роботы и люди работают вместе не могут – для «беспилотников» выделяют отдельные участки, где они трудятся, не пересекаясь с людьми. Два робота уже готовы для отправки в Россию на предприятия СУЭК. Дальнейшее развитие карьерных самосвалов – увеличение грузоподъемности машин, так как это позволяет экономить на топливе, персонале, ремонтных работах. Ну и, конечно же, роботизация.

КАМАЗ разрабатывает грузовые автомобили с системами помощи водителю и системами автономного движения. В 2015 году был создан прототип первого в России беспилотного автомобиля на базе серийного грузовика "КАМАЗ-5350" с полноприводным шасси 6x6 (рис. 5), автомобиль умеет самостоятельно ездить по заданным маршрутам без помощи водителя. При этом система искусственного интеллекта грузовика различает дорожную разметку, знаки а также других участников дорожного движения, в том числе и пешеходов. Также в июне 2018 года на специальной трассе в Казани был испытан 12-местный беспилотный электробус Ш.А.Т.Л. (Широко Адаптивная Транспортная Логистика) "КАМАЗ-1221". Для демонстрации возможностей автомобиля на берегу реки



Рис. 3. Самосвал Volvo
Fig. 3. Volvo Dumper



Рис. 4. Самосвал БЕЛАЗ
Fig. 4. БЕЛАЗ Dumper

Казанки был определен путь длиной 650 м, расположенный внутри огороженной по периметру закрытой территории.

Технический задел в области управления автономным движением имеются у большинства современных автомобильных заводов [1÷11]. В среднесрочной перспективе автомобили будут с возможностью автономного движения и будут выпускаться всеми ведущими предприятиями отрасли. Можно выделить несколько основных направлений развития отрасли: создание автомобилей с высокой степенью автоматизации, создание полностью автоматических автомобилей (автороботов), создание автомобилей с функцией движения в колонне и т. д. Сейчас среди зарубежных лидеров можно назвать Google, Volvo, MAN, Audi, Mercedes-Benz, Continental и т. д., а среди отечественных – КАМАЗ, ВистГрупп и др.

Проекты по созданию автономных горнодобывающих комплексов в настоящее время реализуются на месторождениях Чили, Австралии, Южно-Африканской республики. Лидером отрасли может считаться компания Komatsu. В данном

направлении ведутся также разработки компаний «БЕЛАЗ».

Рассмотрим, из анализа в области управления автономным движением, структуру аппаратной части системы автономного движения, которая состоит из: органов технического зрения (рис. 6); системы связи и навигации (рис. 7); блока управления (рис. 8); агрегатов автомобиля (рис. 9).



Рис. 5. Грузовик КАМАЗ
Fig. 5. Autotruck КАМАЗ

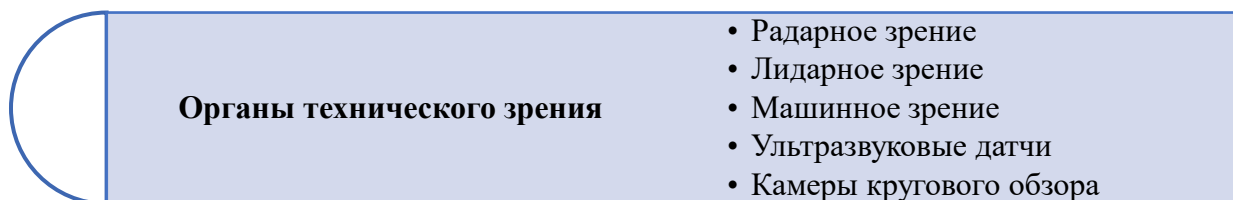


Рис. 6. Органы технического зрения
Fig. 6. Vision organs

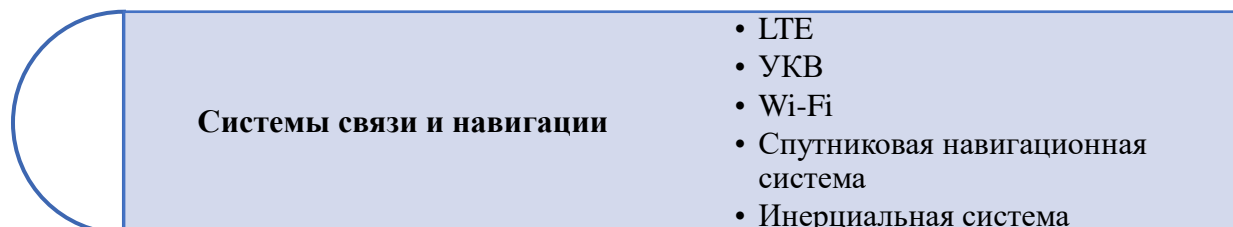


Рис. 7. Системы связи и навигации
Fig. 7. Communication and navigation systems

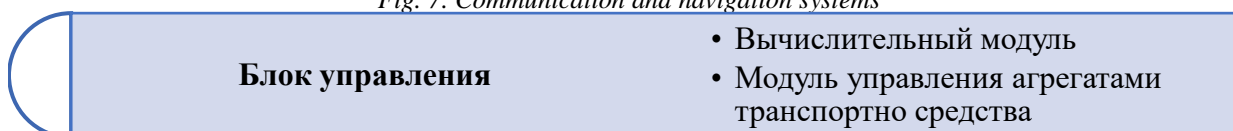


Рис. 8. Блок управления
Fig. 8. Control block

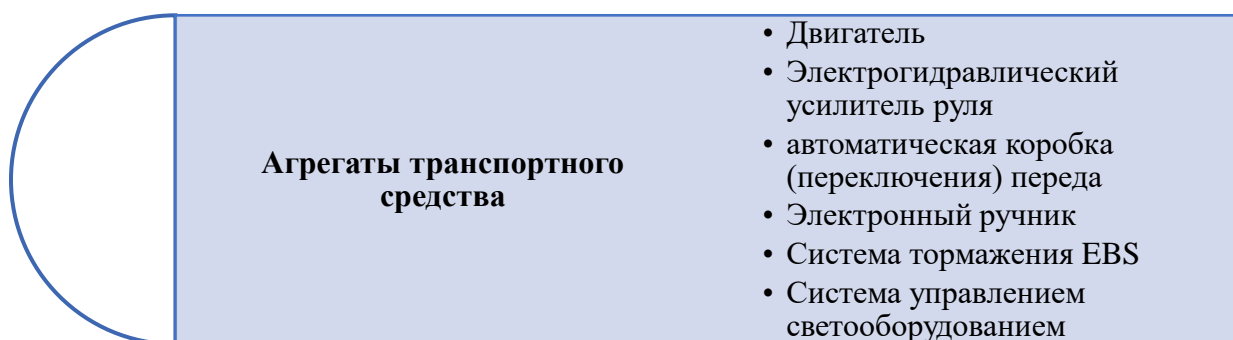


Рис. 9. Агрегаты транспортного средства
Fig. 9. Vehicle Aggregates

Для определения подходящей архитектуры системы компьютерного зрения, должны быть рассмотрены некоторые связанные с задачей требования.

Из-за определенной области применения, система компьютерного зрения должна работать в режиме реального времени. Полученные данные должны быть доступны в момент после обнаружения возможной критической ситуации. Время для расчета зависит от скорости автомобиля и сокращается с увеличением скорости транспортного средства. Это может представлять собой значительную проблему в случае использования маленьких и дешевых встроенных контроллеров. Чтобы преодолеть эту проблему применяются алгоритмы, которые поддерживают параллельные вычисления на платформе многоядерных процессоров. В качестве альтернативы могут быть использованы специальные интеллектуальные видеокамеры с предустановленным программным

обеспечением для обработки изображений. Такие камеры могут выполнять извлечение основных особенностей изображения, распознавания объектов и слежения.

Вторым важным требованием является возможность адаптироваться к быстрым изменениям окружающей среды, которые контролируется с помощью камер. Такие изменения могут быть вызваны туманом, дождем, снегом, а также изменением освещения, связанного, например, с дневными и ночными периодами суток или входом в тоннели и выходом из них.

В настоящее время существует много проектов сенсорных систем, которые исследуют и разрабатывают систем компьютерного зрения в дорожных транспортных машинах. Цели проектов связаны с разработкой систем поддержки водителя, систем определения состояния водителя и модулей распознавания дорожной инфраструктуры для автономных транспортных машин.



Системы компьютерного зрения в транспортных средствах являются частью систем автономной парковки, адаптивного круиз-контроля, предупреждения съезда с полосы, обнаружения усталости водителя, обнаружения препятствий и дорожных знаков, и других. В настоящее время только автомобили высокого класса оснащены несколькими такими системами, но они все более и более встречаются и в автомобилях среднего класса.

Главными ограничениями систем компьютерного зрения в транспортных средствах являются их возможности, связанные с характеристиками оборудования. Обработка изображения через большое количество последовательных методов распознавания и извлечения данных может быть очень требовательным к мощности процессора. Должен быть сделан компромисс между качеством и стоимостью каждого шага в обработке изображений, для того, чтобы создать максимально оптимизированную систему. При обработке изображений используются два наиболее широко применяемых подхода: извлечение основных особенностей изображения с помощью преобразования Хафа и обучение классификаторам для распознавания всего объекта. Реализация классификаторов, основанных на методах использования признаков Хаара, позволяет использовать алгоритмам меньший объем системных ресурсов. Недостатком этого способа является его низкая точность. В противоположность этому, метод Хафа гораздо более точен, но использует больше

системных ресурсов. Методов, которые выполняют сложные вычисления над всеми пикселями изображения, следует избегать и использовать только там, где они необходимы.

Одним из факторов, влияющих на точность обнаружения транспортного средства, отслеживания и распознавания объектов в открытой окружающей среде, являются экологические условия. Погодные условия, такие как снег, дождь, туман и другие могут существенно снизить точность системы компьютерного зрения. Плохое качество дорожной разметки и пропуски в поле зрения камер из-за различных препятствий (часто проблема с дорожными знаками) представляет собой дополнительную проблему для систем, основанных на компьютерном зрении. Требуется значительная надежность для преодоления этой проблемы. Чтобы уменьшить влияние, которые эти факторы могут оказать на системы, должны быть разработаны новые камеры и соответствующие алгоритмы обработки изображений.

В последнее время широко распространена аппаратная реализация многофункциональных бортовых систем модульной архитектуры: каждая функция, выполняемая системой, реализована в виде некоторого автономно работающего устройства со своей собственной памятью и блоком обработки (процессором) [12].

Таким образом, одной из главных тенденций современного развития автомобильной техники – уменьшение нагрузки на водителя с переходом в долгосрочной перспективе к полностью

автономным транспортным средствам. При этом оператор будет задавать только лишь требуемый пункт назначения или промежуточные пункты, а авторобот будет сам определять маршрут, выбирать режимы движения, контролировать своё состояние и обрабатывать нештатные ситуации. Одной из причин спроса на беспилотную технику (рис. 10) – добыча полезных ископаемых в сложных для добычи традиционными методами условиях, серьезная нехватка квалифицированных водителей карьерной техники по всему миру, большой срок обучения специалистов и быстрая выработка человеческого ресурса на тяжелой работе, а также экономический эффект, который может быть достигнут при использовании автономной техники.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-034 от 22.11.2019г. с ПАО "КАМАЗ" по комплексному проекту «Разработка и создание высокотехнологичного производства автономных тяжелых платформ для безлюдной добычи полезных ископаемых в системе "Умный карьер"», при участии ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» в части выполнения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Voronov Yu., Voronov A., Grishin S., Bujankin A., Increasing the technical level of mining haul trucks //E3S Web of Conferences The Second International Innovative Mining Symposium / 2017.
2. Naranjo, J. E. Anguita Autonomous vehicle for surveillance missions in off-road environment / J. E. Naranjo [et al.]// IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Gothenburg. – 2016. – P. 98–103.
3. Tendency of Creation of "Driverless" Vehicles Abroad // Saykin A.M., Bakhmutov S.V., Terenchenko A.S., Endachev D.V., Karpukhin K.E., Zarubkin V.V. Biosciences Biotechnology Research Asia. – 2014. – V. 11. (Spl. Edn.) – P. 241–246.
4. Nonami, K. Autonomous Control Systems and Vehicles. Intelligent Unmanned Systems / K. Nonami [et al.] // Springer Japan. 2013. – 306 p.
5. Cheng, H. Autonomous Intelligent Vehicles. Theory, Algorithms, and Implementation // Springer. 2011. – 163 p.
6. Michon, J.A. A CRITICAL VIEW OF DRIVER BEHAVIOR MODELS: WHAT DO WE KNOW, WHAT SHOULD WE DO? // In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.). Human behavior and traffic safety. New York: Plenum Press, 1985. – P. 485–520.
7. SAE J3016. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for OnRoad Motor Vehicles. SAE. 2016. – 30 p.
8. Tahirovic, A. Passivity-Based Model Predictive Control for Mobile Vehicle Motion Planning / A.Tahirovic, G.Magnani // Springer. 2013. – 64 p.
9. Shadrin, S.S. Methodology of autonomous road vehicles, integrated in intellectual transport environment, driving control systems design: dissertation ... doctor of technical science. 05.05.03 [Place of the thesis defense: Bauman State Technical University]. – Moscow, 2017. – 400 p.
10. Saikin, A.M. The Analysis of Technical Vision Problems Typical for Driverless Vehicles / A.M. Saikin, S.E. Buznikov, K.E. Karpukhin // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – V. 7. – № 4. – P. 2053–2059.
11. Shadrin, S.S. Experimental Autonomous Road Vehicle with Logical Artificial Intelligence / S.S. Shadrin, O.O. Varlamov, A.M. Ivanov // Journal of Advanced Transportation. 2017. Article ID 2492765. 10 pages. doi:10.1155/2017/2492765.
12. Беспилотный самосвал: [сайт]. URL: <https://masterok.livejournal.com/3118873.html> (дата обращения: 02.12.2019). – Текст. Изображение : электронные
13. Беспилотный БелАЗ: он оставит водителей без работы!: [сайт]. URL: https://www.zr.ru/content/articles/914983-bespilotnyj-belaz/?internal_visits=menu_events_list (дата обращения: 02.12.2019). – Текст. Изображение : электронные

Dmitry M. Dubinkin, C. Sc. in Engineering, Associate Professor

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation

CURRENT STATE OF TECHNICS AND TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF AUTONOMOUS CONTROL MOVEMENT VEHICLES OF COAL MINE CAREE

Abstract: The article conducts the current state of engineering and technology in the field of autonomous control of the movement of vehicles in coal mines. The main manufacturers of unmanned quarry equipment are shown. The system

of autonomous control of the movement of vehicles of coal opencasts is given. Conclusions are drawn about the main elements and components of autonomous control of mining trucks.

Keywords: unmanned mining dump truck, productivity, duration of a voyage, mining.

Article info: received December 18, 2019

DOI: 10.26730/1816-4528-2019-6-8-15

REFERENCES

1. Voronov Yu., Voronov A., Grishin S., Bujan-kin A., Increasing the technical level of mining haul trucks //E3S Web of Conferences The Second International Innovative Mining Symposium / 2017.
2. Naranjo, J. E. Anguita Autonomous vehicle for surveillance missions in off-road environment / J. E. Naranjo [et al.]// IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Gothenburg. – 2016. – R. 98–103.
3. Tendency of Creation of "Driverless" Vehicles Abroad // Saykin A.M., Bakhmutov S.V., Terenchenko A.S., Endachev D.V., Karpukhin K.E., Zarubkin V.V. Biosciences Bio-technology Research Asia. – 2014. – V. 11. (Spl. Edn.) – R. 241–246.
4. Nonami, K. Autonomous Control Systems and Vehicles. Intelligent Unmanned Systems / K. Nonami [et al.] // Springer Japan. 2013. – 306 p.
5. Cheng, H. Autonomous Intelligent Vehicles. Theory, Algorithms, and Implemen-tation // Springer. 2011. – 163 p.
6. Michon, J.A. A CRITICAL VIEW OF DRIVER BEHAVIOR MODELS: WHAT DO WE KNOW, WHAT SHOULD WE DO? // In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.). Human behavior and traffic safety. New York: Plenum Press, 1985. – R. 485–520.
7. SAE J3016. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for OnRoad Motor Vehicles. SAE. 2016. – 30 p.
8. Tahirovic, A. Passivity-Based Model Predic-tive Control for Mobile Vehicle Mo-tion Planning / A.Tahirovic, G.Magnani // Springer. 2013. – 64 p.
9. Shadrin, S.S. Methodology of autonomous road vehicles, integrated in intellec-tual transport environment, driving control systems design: dissertation ... doctor of technical science. 05.05.03 [Place of the thesis defense: Bauman State Technical University]. – Mos-cow, 2017. – 400 p.
10. Saikin, A.M. The Analysis of Technical Vision Problems Typical for Driverless Vehicles / A.M. Saikin, S.E. Buznikov, K.E. Karpukhin // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – V. 7. – № 4. – R. 2053–2059.
11. Shadrin, S.S. Experimental Autonomous Road Vehicle with Logical Artificial Intelligence / S.S. Sha-drin, O.O. Varlamov, A.M. Ivanov // Journal of Ad-vanced Transporta-tion. 2017. Article ID 2492765. 10 pages. doi:10.1155/2017/2492765.
12. Беспилотный самосвал: [sajt]. URL: [https://mas-terok.livejournal.com/3118873.html](https://masterok.livejournal.com/3118873.html) (data obrash-cheniya: 02.12.2019). – Tekst. Izobrazhenie : el-ektronnye
13. Беспилотный BelAZ: on ostavit voditelej bez raboty!: [sajt]. URL: [https://www.zr.ru/content/arti-cles/914983-bespilotnyj-belaz/?internal_vis-its=menu_events_list](https://www.zr.ru/content/articles/914983-bespilotnyj-belaz/?internal_vis-its=menu_events_list) (data obrashcheniya: 02.12.2019). – Tekst. Izobrazhenie : elektronnye

Библиографическое описание статьи

Дубинкин Д.М. Современное состояние техники и технологий в области автономного управления дви-жением транспортных средств угольных карьеров // Горное оборудование и электромеханика – 2019. – № 6 (146). – С. 8-15.

Reference to article

Dubinkin D.M. Current state of technics and technol-ogies in the field of autonomous control movement ve-hicles of coal mine caree. Mining Equipment and Elec-tromechanics, 2019, no. 6 (146), pp. 8-15.