



Дрейф транспортных технологий и лидеры процесса



Александра СМЫК
Alexandra F. SMYK

Наталья КУЗЬМИНА
Natalia B. KUZMINA



Смык Александра Фёдоровна – доктор физико-математических наук, заведующая кафедрой физики Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия.

Кузьмина Наталья Борисовна – старший преподаватель кафедры физики МАДИ, Москва, Россия.

Drift of Transport Technologies and Process Leaders

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 254)

Авторы рассматривают вопросы научной и изобретательской деятельности российских учёных и инженеров в области транспорта в конце XIX–начале XX веков. Показано, что повышение роли инженерно-технического образования в стране было связано с задачами индустриализации, в частности – развитием транспортной системы. Большой вклад отечественная наука внесла в создание транспорта на электрической тяге – магистрального железнодорожного, городских трамваев, электромобилей. Опытные работы по использованию городского рельсового транспорта были выполнены Ф. А. Пироцким, теоретическое обоснование передачи постоянного электрического тока на дальние расстояния дано Д. А. Лачиновым, существенны пионерные труды И. В. Романова по созданию подвесной монорельсовой дороги. Императорское Русское техническое общество выступило организатором первых в мире международных съездов и выставок, на которых были представлены двигатели для автомобильного транспорта и самолётостроения.

Ключевые слова: инженерное образование, Императорское Русское техническое общество, рельсовый транспорт, транспорт на электрической тяге, двигатели внутреннего сгорания, история науки и отечественного изобретательства.

На современном этапе развития общества, когда российское государство решает задачи модернизации экономики, исторический опыт имеет особое значение. В отечественной историографии не столь много места уделяется изучению деятельности частных и общественных организаций, направленной на создание и укрепление промышленности. Тем не менее вопросам формирования в конце XIX века отраслевых объединений в виде съездов промышленников добывающих и обрабатывающих отраслей, а также транспортников посвящены отдельные исследования российских историков [1], а также зарубежных [2]. Затрагивались и проблемы отечественной интеллигенции, в том числе и технической, становления инженерного образования в России [3, 4].

На протяжении последних двух веков перед страной стоит задача создания мощной отечественной промышленности, которая не имеет решения без развития транспортной системы. Не случайно инженерное образование в России ведёт свой отсчёт с открытия в 1810 году в Санкт-Петербурге Института Корпуса инженеров путей сообщения. Он выпускал специа-

листов с воинским званием поручика для прохождения службы в интересах государства. Обширная империя нуждалась в устройстве многочисленных и удобных сообщений и развитии всех видов транспорта. Благодаря русским инженерам, в XIX веке была построена уникальная система путей сообщения, в состав которой входили несколько водных систем, разветвлённые системы железных и шоссейных дорог [4].

В этот период в России начала складываться новая социально-профессиональная общность — техническая интеллигенция. Институционально с 1866 года в стране существовала общественная организация — Императорское Русское техническое общество (ИРТО). Оно было создано по инициативе учёных и преподавателей петербургских высших учебных заведений, инженеров и представителей государственного аппарата и промышленного капитала. Для членов ИРТО была характерна главная черта — связь высшего технического образования и стремления служить Родине, способствовать развитию её промышленности и экономической независимости. На рубеже веков эти качества требовались особо: индустриальные технологии претерпевали революционные изменения, заканчивалась классическая эпоха пара и начинался процесс электрификации силового аппарата всей промышленности, широкого внедрения двигателей внутреннего сгорания.

ПРОГРЕСС ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ

Представители российского научно-технического сообщества внесли значимый вклад в развитие транспорта на электрической тяге — электрических железных дорог, городских трамваев, электромобилей. В конце XIX века в России велись уникальные разработки подвесных монорельсовых дорог, существовали проекты высокоскоростного движения. Одновременно с проектами новых транспортных средств и изобретениями талантливых инженеров шло научное осмысление инноваций на стыке смежных технических дисциплин, изучение теоретических вопросов электро- и теплоэнергетики.

В журнале «Электричество», издаваемом ИРТО, в 1880 году появилась статья



Рис. 1. Д. А. Лачинов (1842–1902).

Д. А. Лачинова «Электромеханическая работа» о применении электродвигателей и передаче электрической энергии. Отдельные вопросы им были решены и получили объяснение раньше, чем это сделали крупнейшие европейские учёные.

Дмитрий Александрович, будучи профессором физики Петербургского лесного института (рис. 1), первым обосновал условия передачи постоянного электрического тока на дальние расстояния. Он доказал, что полезный эффект электропередачи никак не связан с сопротивлением цепи, а зависит от отношения количества оборотов генератора и двигателя. Чтобы увеличить расстояние, на которое передаётся энергия, необходимо повысить скорость обеих машин на величину, обратно пропорциональную квадратному корню их сопротивления. Увеличение количества оборотов электрогенератора приводит к возрастанию напряжения на его зажимах. Поэтому для достижения нужного эффекта при передаче энергии на дальние расстояния требуется увеличить напряжение в линии электропередачи.

Выводы русского электротехника были названы «законом электропередачи» и положили начало развитию современной высоковольтной техники. Примерно через год к подобным выводам пришёл и французский инженер Марсель Депре. В 1882





Рис. 2. Ф. А. Пироцкий (1845–1898).

году он организовал передачу электричества напряжением 200 В между городами Мисбах и Мюнхен, находящимися на расстоянии 57 км друг от друга. В дальнейшем на основе разработок Лачинова и Депре стали строиться линии электропередач напряжением более 1000 В, что стимулировало появление силовых трансформаторов. Долгие годы Лачинов работал в качестве эксперта департамента торговли и мануфактур, выдававшего российские привилегии изобретателям. Его подпись стоит на многих заключениях о новизне в предлагаемых к признанию изобретений и усовершенствованиях в области электротехники.

Предшествовали работам Лачинова идеи и эксперименты другого русского инженера — Фёдора Апполоновича Пироцкого. Он проводил первые опыты по применению электрической тяги в городском транспорте, в результате чего впервые в мире в Петербурге в 1875 году по рельсам конно-железных дорог был пущен моторный трамвайный вагон. Передача электроэнергии от генератора к двигателю по проекту должна была осуществляться одним железным проводом, прокладываемым по изоляторам, укрепленным на деревянных столбах.

«Иначе сказать, проволока эта, её скрепление со столбами, а равно и сами столбы, и их взаимное расстояние, все сии предметы суть те же самые, какие употребляются в обыкновенных телеграфах», — пи-

сал Пироцкий в прошении на выдачу привилегии. На рис. 3 приведена схема из этого прошения для передачи энергии на расстояние. Обратным проводом при этом, как и в телеграфе, должна была служить земля. Электрическая энергия передавалась от небольшого генератора Грамма к электродвигателю, удалённому на расстояние около одного километра. 24 июля 1874 года автор подал в департамент торговли и мануфактур заявку на получение 10-летней привилегии на своё изобретение.

В начале 1880 года Пироцкий написал доклад для ИРТО «Передача силы на любое расстояние с помощью гальванического тока (проводники — рельсы и провод), в том числе и для движения поездов». Понимая непригодность использования проволоки для передачи электроэнергии большой мощности на большие расстояния, инженер предлагал использовать в качестве проводника рельсы, обладающие значительно большим сечением. Несмотря на то, что предложение об увеличении сечения проводов при увеличении передаваемой мощности или расстояния передачи является ошибочным (позже будет доказана возможность уменьшения потерь путём увеличения напряжения передачи при применении проводов относительно небольшого сечения), любые поправки не умаляют заслуги изобретателя.

В 1876 году Пироцкий изложил результаты своих работ в статье, напечатанной в «Инженерном журнале». В числе её читателей оказался Вернер Сименс — глава немецкой фирмы «Сименс и Гальске». В 1879 году идея передачи электроэнергии по рельсам для движения игрушечной железной дороги была продемонстрирована этой фирмой на Берлинской промышленной выставке [5]. Питание двигателя выставочного локомотива производилось от третьего, контактного провода.

На первой в мире электротехнической выставке в Петербурге 26 марта 1880 года, организованной ИРТО, большое внимание уделялось устройству предложенной Пироцким электрической железной дороги. Экспертами и оппонентами выступили авторитетные учёные и инженеры, среди которых были Д. А. Лачинов, О. Д. Хвольсон, П. Н. Яблочков. При этом вопрос применения электрической тяги для транс-

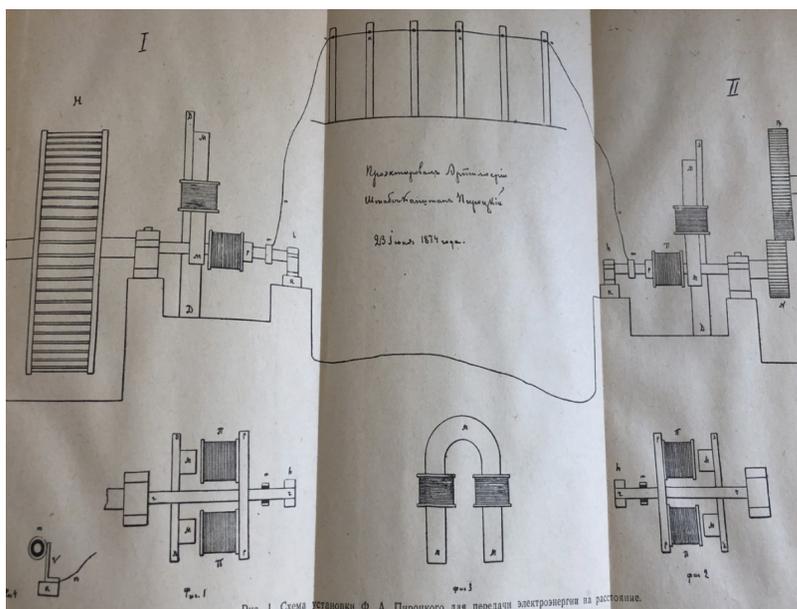


Рис. 3. Схема Ф. А. Пироцкого для передачи электроэнергии на расстояние.

порта считался решённым, никто его не оспаривал, обсуждались лишь частные детали электрического торможения, сигнализации и прочее.

Для широкого практического применения на магистральных железных дорогах изобретения Пироцкого, как и теоретические положения Лачинова по использованию постоянного электрического тока, были непригодны. Только в результате появления работ другого русского инженера М. О. Доливо-Добровольского, изобретателя трёхфазного тока, в 1889–1891 годах оказалось возможным применение электроэнергии на магистральных железнодорожных путях [6]. Ретроспективный взгляд на эксплуатацию систем электрической тяги на железнодорожном транспорте как на постоянном токе, так и переменном представлен в статье [7].

Идеи Пироцкого нашли своё воплощение в строительстве городского трамвая, который был пущен в Киеве в июне 1892 года. Осуществление первого в России проекта трамвая целиком заслуга русских инженеров, сделавших это без всякого участия иностранного капитала и иностранных специалистов.

Большой вклад в развитие транспорта электрической тягой был внесён профессором Киевского политехнического института Григорием Дмитриевичем Дубелиром,



Рис. 4. Г. Д. Дубелир (1874–1942).

который окончил в 1898 году Петербургский институт инженеров путей сообщения и изучал трамвайное дело в Германии, Бельгии и Англии (рис. 4).

Электрификация городского общественного транспорта в России шла в ногу со временем и полностью соответствовала состоянию научной мысли и уровню технологического прогресса того времени. В 35 городах империи трамвай стал главным видом общественного транспорта [8].





Рис. 5. И. В. Романов (1864–1944).

В 1902 году Дубелир сделал доклад в комиссии, возглавляемой главным инспектором российских железных дорог А. И. Горчаковым, «Об основных принципах проектирования профиля железных дорог с электрической тягой». Развивая научные положения планировки городов, он издал книги «Устройство и ремонт пути русских трамваев» (1902 г.) и «Городские электрические трамваи» (1908 г.), которые долгие годы были наиболее распространёнными пособиями для студентов высших технических учебных заведений по городскому электротранспорту [9]. Учёный мирового уровня, Дубелир участвовал в строительстве первой в России электрической железной дороги Лодзь—Згеж и Лодзь—Пабянице, занимался вопросами планировки городов, был одним из организаторов высшего автомобильно-дорожного образования в стране.

В конце XIX века появилось большое количество проектов сооружения электрического трамвая как от отдельных лиц, так и от акционерных обществ. Среди этих проектов заслуживает особого внимания работа русского инженера Ипполита Владимировича Романова, который известен как изобретатель первых электрических автомобилей — электроомнибусов для го-

родского транспорта (рис. 5). Одновременно с конструированием электромобилей он разрабатывал идею создания подвесной монорельсовой железной дороги с электроприводом.

Главный элемент дороги — решётчатая путевая балка была подвешена на Г-образных решётчатых опорах. На балку становились две двухосные ходовые тележки, к которым на пружинных амортизаторах подшивался обыкновенный трамвайный вагон. Тележка была сконструирована так, что охватывала балку с трёх сторон. На верхней её площадке крепились электромотор (мощность 6 кВт, ток питания постоянный, напряжением 100 В), а также ходовые и бегунковые колёса. На боковых поверхностях тележки горизонтально одно над другим были помещены по два направляющих колеса. Благодаря такой конструкции, тележка надёжно удерживалась на балке. Скорость тележки не превышала 15 км/ч (это было достигнуто выбором малого диаметра ходового колеса — 12 см). Вес вагона составлял 100 пудов (1638 кг), с грузом (балласт) — 200 пудов. Высота от земли до днища вагона — 75 см. В 1900 году под Петербургом прошли успешные испытания подвесного электрического трамвая, изготовленного целиком по чертежам автора и при его непосредственном участии. Подвесная монорельсовая железная дорога с электроприводом получила название «дорога системы инженера Романова», на неё был выдан в 1900 году российский патент, а позже и американский.

Романов предлагал строить монорельсовые дороги трёх типов: для перевозки почты и лёгких посылок; для перевозки грузов большого объёма и веса: хлеба, руды, камня, земли и цемента, а также для перевозки пассажиров и больших грузов. В 1905 году в ИРТО инженером путей сообщения В. С. Мелентьевым был сделан «Доклад по вопросу об осуществлении подвесной железной дороги с электрической тягой системы Романова между Санкт-Петербургом и Москвой». В нём подробно рассмотрен вариант строительства трассы вдоль линии существующей Николаевской железной дороги [10]. Проект одобрен министерством путей сообщения, но финансирование его стало неразрешимой проблемой в условиях начавшейся русско-японской

войны, а затем и вступления России в Первую мировую войну.

РАЗРАБОТКА ДВС

В истории технологического развития страны есть немало примеров вклада иностранных граждан, долгое время проживавших и даже впоследствии принявших российское подданство, чья инженерная, изобретательская и коммерческая деятельность способствовали прогрессу отечественного транспорта. К их числу можно отнести Людвиг Эммануиловича Нобеля и Густава Ивановича Листа. Активные члены ИРТО, они участвовали в просветительской деятельности, наращивали свой бизнес на благо российской экономики.

Людвиг Нобель известен как основатель «Товарищества нефтяного производства братьев Нобель», одной из лучших в России и Европе компании по добыче, переработке и транспортировке нефти (рис. 6). Он внёс огромный вклад в развитие ИРТО, являлся инициатором введения у нас метрической системы мер, отметился рядом изобретений. После его смерти «Товарищество нефтяного производства братьев Нобель» обратилось в совет ИРТО с предложением учредить золотую медаль имени Л. Э. Нобеля за «лучшее сочинение или исследование по металлургии или нефтепромышленности, или за какие-либо выдающиеся изобретения или усовершенствования в технике этих производств, принимая во внимание наибольшее их практическое применение к развитию в России». И это была первая Нобелевская премия, задолго до учреждения Альфредом Нобелем той, что ныне присуждается Шведской Королевской академией.

Сыновья Л. Э. Нобеля продолжили вести дело товарищества нефтяного производства, и их деятельность в ИРТО была связана с развитием двигателестроения. Приобретя патент на изготовление двигателей внутреннего сгорания (ДВС) системы Дизеля, «Завод Людвиг Нобеля» приступил к их производству, конкурируя с лучшими иностранными предприятиями. Заслуга Л. Э. Нобеля состояла в том, что он нашёл оригинальное решение для работы двигателя Дизеля на сырой нефти,

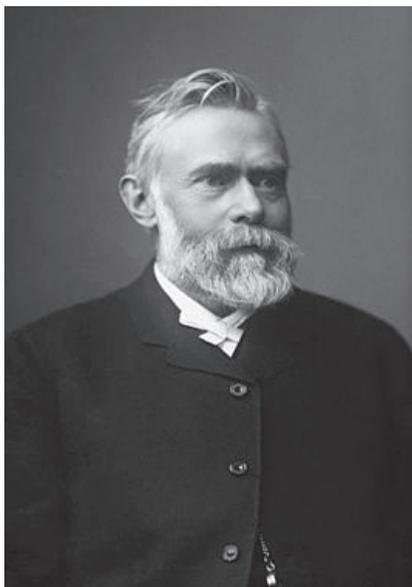


Рис. 6. Л. Э. Нобель (1831–1888).

создал его вариант, который стал называться «русским двигателем». В докладе ИРТО профессор Санкт-Петербургского технологического института Георгий Депп говорил о двигателе Нобеля: «Столь хорошие результаты, полученные при двигателях, построенных на одном из наших русских заводов, весьма замечательны... безукоризненно исполненные русские нефтяные двигатели не уступают заграничным» [11].

По заказам «Товарищества нефтяного производства братьев Нобель» в России впервые началось строительство нефтеналивных теплоходов с дизельными двигателями — на Сормовском заводе дизель-электроходы «Вандал» (1903 г.), «Сармат» (1904 г.). Свои патентные права на производство двигателей товарищество братьев Нобель вскоре переуступило Обществу Коломенского машиностроительного завода, Рижским чугунолитейному и машиностроительному заводам, Николаевскому судостроительному заводу, что послужило быстрому расширению выпуска двигателей нового типа и вытеснению производства паровых машин.

В начале XX века Густав Лист (рис. 7) был владельцем крупных машиностроительных заводов, выпускавших пожарные и мельничные насосы, химические огнетушители, пожарные рукава, бочки на конных повозках, паровые машины, оборудо-





Рис. 7. Г. И. Лист (1835–1913).

вание и трубы для водонапорных башен железнодорожных водокачек всей транспортной сети России, чугунные канализационные люки, пневматические сирены. Для военно-морского ведомства его заводы поставляли турбины, насосы, помпы — оборудование Листа стояло на «Варяге», «Авроре», «Потёмкине», «Ослябе», «Петропавловске» и других кораблях российского флота. В Москве он построил машиностроительный завод, при котором существовали уникальная техническая библиотека, конструкторское бюро и школа чертёжников. Причём и сам, как выяснилось, занимался созданием новых и усовершенствованием существующих двигателей внутреннего сгорания. Ранее неизвестная изобретательская деятельность Г. И. Листа и описание его изобретения двухтактного керосинового ДВС представлены авторами статьи [12].

Отказавшись от парового котла, который являлся наиболее громоздкой и дорогой частью паросиловых установок, промышленность постепенно переходила к использованию более экономичного двигателя внутреннего сгорания. С появлением ДВС связано и массовое производство автомобилей, а также появление авиастроения. Начиная с 1860 года, в разных странах усилия изобретателей по созданию подобных двигателей с лучшими параметрами были сконцентрированы вокруг поиска наиболее рационального

термодинамического цикла, конструкции и расположения поршней, используемой горючей смеси, системы поджига и регулировки подачи горючей смеси.

Инженер-механик Е. Э. Бромлей, один из владельцев «Общества братьев Бромлей», занимавшегося двигателестроением, выпускник Императорского Московского высшего технического училища (ИМВТУ), написал капитальный труд «Газовые, бензиновые и керосиновые двигатели» (1900 г.). Эта книга появилась в связи с конкурсом, объявленном Политехническим обществом при ИМВТУ. В ней не только история двигателей внутреннего сгорания, но и анализ явлений, происходящих в цилиндрах, расчёты различных параметров ДВС — температуры и давления, скорости сгорания, охлаждающих поверхностей.

В этот же период известность получают теоретические работы по тепловому расчёту ДВС профессора ИМВТУ В. И. Гриневецкого [13]. В 1906 году он предложил собственную конструкцию двухтактного двигателя внутреннего сгорания двойного расширения.

Ставя перед собой задачу содействия развитию техники и промышленности в России, ИРТО пропагандировало лучшие достижения отечественных инженеров. На заседаниях общества ставились доклады о новых конструкциях дизель-моторов, реверсивных ДВС, применении их в городском и железнодорожном транспорте, на морских и речных судах, об автомобилестроении и авиастроении. Отечественные инженеры командировались для изучения мирового опыта, их отчёты обсуждались и публиковались, чтобы обеспечить к ним широкий доступ.

Так, 15 апреля 1904 года на заседании ИРТО был сделан доклад инженера В. С. Мелентьева «Цоссенские опыты движения со скоростью 200 километров в час» [14]. Знакомство с немецкими проектами и исследованиями давало немалый материал для оценки ситуации в собственной стране. В Германии в это время было создано акционерное общество, целью которого ставилась организация высокоскоростного движения на участке между Берлином и Гамбургом. На протяжении нескольких лет велись испытания движения электропоездов (они получили назва-

ние Цоссенские опыты), которые начинались со скорости 80 км/ч и затем, постепенно прибавляя, дошли до предельной скорости 200 км/ч.

Большая научно-исследовательская работа велась в ИРТО по применению бензиновых и керосиновых двигателей для самолётов и автомобилей. В 1907 году в Петербурге была устроена первая международная выставка автомобилей, на которой демонстрировались экспонаты крупнейших фирм мира, в том числе описание автомобильных двигателей, их схемы и чертежи.

В 1909 году в ИРТО создаётся постоянная автомобильно-авиационная комиссия под председательством профессора Н. С. Лаврова. Учитывая лидирующее положение России в мире по производству и совершенствованию двигателей Дизеля, ИРТО принимает решение о проведении с 6 по 15 мая 1910 года в Санкт-Петербурге «Съезда деятелей, занимающихся построением и применением двигателей внутреннего сгорания», на который были приглашены многие видные зарубежные специалисты, включая Рудольфа Дизеля. На съезд приехали около 200 человек. Среди них известные университетские профессора Н. А. Быков, В. И. Гриневецкий, Г. Ф. Депп, Н. Р. Брилинг, Д. С. Зернов, В. П. Аршаулов и представители всех русских заводов, строивших двигатели, и многих организаций, связанных с эксплуатацией двигателей.

Несмотря на все усилия и тот факт, что в области изобретений и развития теории ДВС российские инженеры не уступали своим зарубежным коллегам, массового развития автомобилестроения в России тогда не получило [15]. Многие проекты и разработки отечественных авторов так и не нашли практического воплощения. В значительной мере это связано с тем, что российская крупная промышленность всегда развивалась, ориентируясь преимущественно на государственные заказы. Российские инженеры были и сейчас остаются генераторами новых идей и технологий, обещающих немалый прогресс про-

мышленности и транспорту, но на этапе внедрения и коммерциализации чаще всего они уступают зарубежным конкурентам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смык А. Ф., Макаренко Е. И. The Imperial Russian Technical Society Activities, Aimed at the National Industry Development // Былые годы. Российский исторический журнал. – 2018. – № 48. – pp. 598–609.
2. Брэдли Дж. Общественные организации царской России: наука, патриотизм и гражданское общество: Пер. с англ. – М.: Новый хронограф, 2012. – 448 с.
3. Сапрыкин Д. Л. История инженерного образования в России, Европе и США: развитие институтов и количественные оценки // Вопросы истории естествознания и техники. – 2012. – № 4. – С. 51–90.
4. Смык А. Ф. Исторический опыт реформирования инженерного образования в России // Вопросы истории естествознания и техники. – 2015. – № 3. – С. 537–558.
5. Ржонсницкий Б. Н. Трамвай – русское изобретение. – М.: Изд-во Минкомхоза РСФСР, 1952. – 84 с.
6. Григорьев Н. Д. «Беличья клетка» в трёхфазном двигателе // Мир транспорта. – 2012. – № 1. – С. 180–190.
7. Бекренев В. Ю. Мировые тенденции тягового электроснабжения // Мир транспорта. – 2012. – № 3. – С. 204–210.
8. Симонов Н. С. Развитие электроэнергетики Российской империи: предыстория ГОЭЛРО. – М.: Русский фонд содействия образованию и науке, 2016. – 320 с.
9. Дубелир Г. Д. Городские электрические трамваи. – Изд. С. Ю. Кршижановского [и др.]. – Киев: Товарищество Печатня С. П. Яковлева, 1908. – 400 с.
10. Мелентьев В. С. Электрические подвесные железные дороги и дорога системы инженера Романа. СПб., 1901 // Труды комиссии по рассмотрению вопросов о применении электрической тяги на путях сообщения. – 1905. – № 11. – С. 34.
11. Механический завод Людвиг Нобель: 1862–1912. – СПб.: Т-во Р. Голике и А. Вильборг, 1912. – 77 с.
12. Смык А. Ф., Спиридонова Л. В., Спиридонов А. А. Густав Лист – изобретатель двигателя внутреннего сгорания // Грузовик. – 2017. – № 12. – С. 40–44.
13. Гриневецкий В. И. Тепловой расчёт рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания. – М.: Типо-лит. т-ва И. Н. Кушнерев и К°, 1907. – 26 с.
14. Цоссенские опыты движения со скоростью 200 километров в час: Стеногр. отчёт по докл. инж. В. С. Мелентьева и беседе в 8-м Отд. И. Р. Техн. о-ва совместно с его 6-м Отд. и Комис. по вопр. электр. тяги, сост. при Постоян. ком. Всерос. электр. съездов, 15 апр. 1904 г., под пред. А. Н. Горчакова. – Санкт-Петербург, 1904. – 46 с.
15. Смык А. Ф., Спиридонова Л. В., Спиридонов А. А. Из истории создания отечественных двигателей внутреннего сгорания // История науки и техники. – 2015. – № 11. – С. 24–32.

Координаты авторов: **Смык А. Ф.** – afsmyk@mail.ru, **Кузьмина Н. Б.** – Nbbezrodnaya@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 30.08.2018, принята к публикации 24.10.2018.



Smyk, Alexandra F., Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia.

Kuzmina, Natalia B., Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The authors consider the issues of scientific and inventive activity of Russian scientists and engineers in the field of transport in the late 19th–early 20th centuries. It is shown that the increasing role of engineering and technical education in the country was associated with challenges of industrialization, in particular, development of the transport system. Domestic science has made a great contribution to creation of a vehicle on electric propulsion – main

railway, city trams, and electric vehicles. Experimental work on the use of urban rail transport were performed by F. A. Pirotsky, a theoretical rationale for transfer of direct electric current over long distances was given by D. A. Lachinov, pioneering works of I. V. Romanov on creation of a suspended monorail. The Imperial Russian Technical Society organized the first international congresses and exhibitions in the world, which presented the engines for road transport and aircraft construction.

Keywords: engineering education, Imperial Russian Technical Society, rail transport, transport on electric propulsion, internal combustion engines, history of science and domestic invention.

Background. At the present stage of development of society, when the Russian state solves the problem of modernizing the economy, historical experience is of particular importance. In domestic historiography, not so much space is devoted to the study of the activities of private and public organizations aimed at creating and strengthening industry. Separate studies of Russian historians [1] and foreign ones [2] are devoted to formation of branch associations in the form of congresses of industrialists of mining and manufacturing industries, as well as transport workers at the end of 19th century. The problems of the national intelligentsia, including technical ones, development of engineering education in Russia [3, 4] were also touched upon.

Over the past two centuries, the country has faced the task of creating a powerful domestic industry that does not have a solution without developing a transport system. It is not by chance that engineering education in Russia dates back to the opening of the Institute of Railway Engineers in 1810 in St. Petersburg. Its graduates were specialists with the military rank of lieutenant to serve in the interests of the state. The vast empire needed arrangement of numerous and convenient traffic and development of all types of transport. Due to Russian engineers in 19th century a unique system of communications was built, which

included several water systems, extensive railways and highways [4].

During this period, a new social and professional community began to take shape in Russia – the technical intelligentsia. Institutionally since 1866 there was a public organization in the country – the Imperial Russian Technical Society (IRTS). It was created at the initiative of scientists and teachers of St. Petersburg higher educational institutions, engineers and representatives of the state apparatus and industrial capital. For the members of IRTS, the main feature was characteristic, that of connection of higher technical education and the desire to serve the Motherland, to promote development of its industry and economic independence. At the turn of the century, these qualities were especially needed: industrial technologies underwent revolutionary changes, the classical steam era ended, and the process of electrification of the power apparatus of the whole industry began, it was followed by wide use of internal combustion engines.

Objective. The objective of the authors is to consider drift of transport technologies and process leaders.

Methods. The authors use general scientific methods, historical method, comparative analysis.

Results.

Electric traction progress

Representatives of the Russian scientific and technical community made a significant contribution to development of electric propulsion – electric railways, city trams, electric vehicles. At the end of 19th century in Russia, unique developments of suspended monorails were carried out, there were projects of high-speed traffic. Simultaneously with the projects of new vehicles and the inventions of talented engineers, scientific understanding of innovations at the interface of related technical disciplines was under way to study the theoretical issues of power and heat engineering.

In the journal «Electricity», published by IRTS, in 1880, an article by D. A. Lachinov «Electromechanical work» on the use of electric motors and transmission of electrical energy was published. Certain issues were resolved by him and received an explanation earlier than this was done by the major European



Pic. 1. D. A. Lachinov (1842–1902).

scientists. Dmitry Aleksandrovich, a professor of physics at St. Petersburg Forestry Institute, was the first to substantiate the conditions for transmitting direct electric current over long distances (Pic. 1). He proved that the useful effect of transmission is in no way connected with resistance of the circuit, but depends on the ratio of the number of revolutions of a generator and an engine.

In order to increase the distance to which energy is transmitted, it is necessary to increase the speed of both machines by an amount inversely proportional to the square root of their resistance. The increase in the number of revolutions of the generator leads to an increase in voltage at its terminals. Therefore, to achieve the desired effect when transmitting energy over long distances, it is required to increase voltage in a power line.

The findings of Russian electrical engineering were called the «law of power transmission» and laid the foundation for development of modern high-voltage equipment. About a year later, French engineer Marcel Depret came to similar conclusions. In 1882, he organized transmission of 200 V electricity between the cities of Miesbach and Munich, which are 57 km away from each other. In the future, on the basis of the development of Lachinov and Despres, power lines with voltage of more than 1000 V were built, which stimulated the emergence of power transformers. For many years, Lachinov worked as an expert in the department of trade and manufactures, which issued Russian privileges to inventors. His signature is under many conclusions about novelty in inventions and improvements proposed in the field of electrical engineering.

The works and ideas of another Russian engineer, Fyodor Appolonovich Pirotsky, preceded the works of Lachinov. He conducted the first experiments on the use of electric traction in public transport, as a result of which, for the first time in the world in St. Petersburg in 1875, a motor tram car was launched on rails of horse-drawn railways. The transmission of electricity from a generator to an engine according to the project was to be carried out by one iron wire laid on insulators fixed on wooden poles.

«In other words, this wire, its bond with the pillars, as well as the pillars themselves, and their mutual distance, all these objects are the same as those used in ordinary telegraphs,» wrote Pirotsky in a petition to issue a privilege. Pic. 3 shows a diagram of this petition for transmission of energy over a distance. At the same time, the return wire, as in the telegraph, was supposed to be the ground. Electric energy was transferred from a small Gram generator to an electric motor that was removed at a distance of about one kilometer. On July 24, 1874, the author filed an application with the Department of Commerce and Manufactures for a 10-year privilege on his invention.

At the beginning of 1880, Pirotsky wrote a report for IRTS «Transferring power to any distance using galvanic current (conductors – rails and wires), including for movement of trains». Understanding the unsuitability of the use of wire for transmission of high power over long distances, the engineer suggested using rails with a significantly larger cross section as a conductor. Despite the fact that the proposal to increase the wire cross-section with an increase in



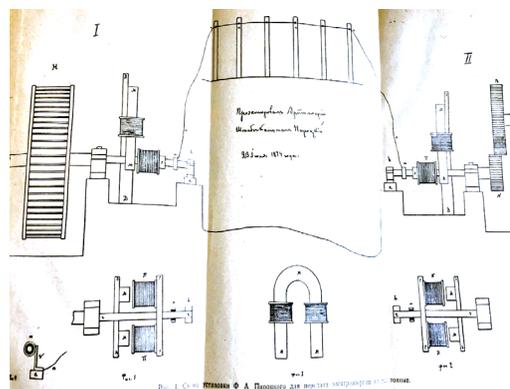
Pic. 2. F. A. Pirotsky (1845–1898).

the transmitted power or transmission distance is erroneous (it will later be possible to reduce losses by increasing the transmission voltage when using wires of a relatively small cross-section), any amendments do not detract from the merits of the inventor.

In 1876, Pirotsky presented the results of his work in an article published in «Engineering Journal». Among his readers was Werner Siemens – the head of the German firm Siemens and Galske. In 1879, the idea of transferring electricity through rails for movement of a toy railway was demonstrated by this company at the Berlin Industrial Exhibition [5]. The engine of the exhibition locomotive was powered from the third, contact wire.

At the first in the world electrical exhibition in St. Petersburg on March 26, 1880, organized by IRTS, a great attention was paid to arrangement of the electric railway offered by Pirotsky. The experts and opponents were respected scientists and engineers, among whom were D. A. Lachinov, O. D. Khvolson, P. N. Yablochkov. At the same time, the issue of using electric traction for transport was considered solved, no one disputed it, only details of electric braking, signaling, etc. were discussed.

For a wide practical application on the main railways of the invention, Pirotsky's, as well as Lachinov's theoretical positions on the use of direct electric current were not suitable. Only as a result of appearance of the work of another Russian engineer,



Pic. 3. Scheme of F. A. Pirotsky for transmission of electric energy over a distance.

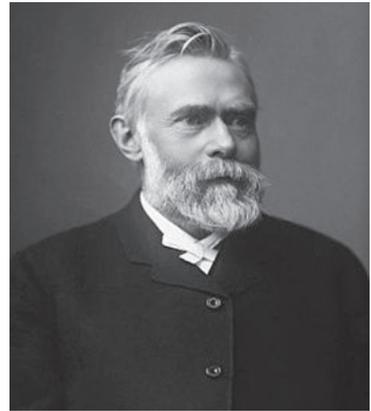




Pic. 4. G. D. Dubelir
(1874–1942).



Pic. 5. I. V. Romanov
(1864–1944).



Pic. 6. L. E. Nobel
(1831–1888).

M. O. Dolivo-Dobrovolsky, the inventor of three-phase current, in the years 1889–1891 it was possible to use electricity on the main railway lines [6]. A retrospective look at the operation of electric traction systems in railway transport on both direct current and alternating current is presented in the article [7].

The ideas of Pirotsky were embodied in the construction of the city tram, which was launched in Kiev in June 1892. The implementation of the first tram project in Russia is entirely the merits of Russian engineers who did it without any participation of foreign capital and foreign specialists.

A major contribution to development of electric transport was made by the professor of Kiev Polytechnic Institute, Grigory Dmitrievich Dubelir, who graduated from Petersburg Institute of Railway Engineers in 1898 and studied the tram business in Germany, Belgium and England (Pic. 4).

The electrification of urban public transport in Russia kept pace with the times and fully corresponded to the state of scientific thought and the level of technological progress at that time. In 35 cities of the empire, the tram became the main form of public transport [8]. In 1902, Dubelir made a report to the commission headed by the Chief Inspector of the Russian Railways A. I. Gorchakov, «On the basic principles of the design of the profile of railways with an electric burden». Developing the scientific positions of urban planning, he published the books «Design and repair of the Russian tramway» (1902) and «City electric trams» (1908), which for many years were the most common manuals for students of higher technical educational institutions on urban electric transport [9]. A world-class scientist, Dubelir participated in construction of the first in Russia Lodz–Zgierz and Lodz–Pabianice electric railway, was involved in urban planning issues, and was one of the organizers of the highest automobile education in the country.

At the end of 19th century, a large number of projects for construction of an electric tram appeared, both from individuals and from joint-stock companies. Among these projects, the work of the Russian engineer Ippolit Vladimirovich Romanov, who is known as the inventor of the first electric cars, electric omnibuses for urban transport, deserves special attention (Pic. 5). Simultaneously with the design of

electric vehicles, he developed the idea of creating a suspended monorail with electric drive.

The main element of a road – a lattice track beam was suspended on L-shaped, lattice supports. On the beam were two two-axle chassis trolleys, to which an ordinary tram car was suspended with spring shock absorbers. The trolley was designed so that it covered the beam from three sides. An electric motor (power 6 kW, constant current supply voltage of 100 V), as well as running and runner wheels were mounted on its upper platform. On the side surfaces of the trolley, two guide wheels were placed horizontally one above the other. Due to this design, the cart was securely held on the beam. The trolley speed did not exceed 15 km/h (this was achieved by choosing a small diameter of the running wheel – 12 cm), the weight of the car was 100 pounds (1638 kg), with a load (ballast) – 200 pounds, height from ground to the bottom of the car – 75 cm. In 1900, near Petersburg, successful tests of a suspended electric tram, made entirely according to the drawings of the author and with his direct participation, passed. Suspended monorail railway with electric drive was called «the road of the system of engineer Romanov», it was granted in 1900 a Russian patent, and later an American one.

Romanov proposed to build three types of monorails: for transportation of mail and light parcels; for transportation of goods of large volume and weight: bread, ore, stone, earth and cement, as well as for the transport of passengers and large goods. In 1905, in IRTS, the railway engineer V. S. Melentyev made a «Report on implementation of a suspended railway with an electric traction of Romanov system between St. Petersburg and Moscow». It discussed in detail the option of building a highway along the line of the existing Nikolaev railroad [10]. The project was approved by the Ministry of Railways, but its financing became an unsolvable problem in the conditions of the beginning of the Russian-Japanese war, and then Russia's entry into the First World War.

Development of ICE

In the history of the technological development of the country there are many examples of the contribution of foreign nationals who have long lived and even subsequently accepted Russian citizenship, whose engineering, inventive and commercial

activities have contributed to the progress of domestic transport. These include Ludwig Emanuilovich Nobel and Gustav Ivanovich List. Active members of IRTS, they participated in educational activities, increased their business for the benefit of the Russian economy.

Ludwig Nobel is known as the founder of the Nobel Brothers Petroleum Production Association, one of the best companies in Russia and Europe for extraction, processing and transportation of oil (Pic. 6). He made an enormous contribution to the development of IRTS, was the initiator of introduction of the metric system of measures in our country, was noted by a number of inventions. After his death, the Nobel Brothers Petroleum Production Association appealed to the IRTS Council with a proposal to establish a gold medal named after L. E. Nobel for «the best essay or study on the metallurgy or the oil industry, or for any outstanding inventions or improvements in the technique of these industries, taking into account their greatest practical application to the development in Russia». And it was the first Nobel Prize, long before Alfred Nobel founded the one now awarded by the Royal Swedish Academy.

Sons of L. E. Nobel continued the business of the partnership of petroleum production, and their activities in IRTS were associated with the development of engine-building. Having acquired a patent for the manufacture of internal combustion engines (ICE) of the Diesel system, «Ludwig Nobel Plant» began their production, competing with the best foreign enterprises. Merit of L. E. Nobel was that he found the original solution for the operation of a diesel engine on crude oil, created his version, which became known as the «Russian engine». Georgy Depp, a professor at St. Petersburg Institute of Technology, spoke about the Nobel engine in IRTS report: «Such good results obtained with engines built at one of our Russian plants are quite remarkable... perfectly executed Russian oil engines are not inferior to those abroad» [11].

For the first time, the construction of oil-loading motor ships with diesel engines began in Russia at the Sormovsky plant for diesel-electric ships Vandal (1903) and Sarmat (1904). The Nobel Brothers partnership soon transferred its patent rights regarding the engine to the Company of Kolomna Machine-Building Plant, Riga Iron-Casting and Machine-Building Plant, Nikolayevsky Shipbuilding Plant, which led to the rapid expansion of new-type engine production and crowding out the production of steam engines.

At the beginning of 20th century, Gustav List (Pic. 7) was the owner of large machine-building plants that produced fire and mill pumps, chemical fire extinguishers, fire hoses, barrels on horse-drawn carts, steam engines, equipment and pipes for water towers of railway waterworks of the entire transport network of Russia cast iron manholes, pneumatic sirens. For the naval department, its plants supplied turbines, pumps – List's equipment was installed on Varyag, Aurora, Potemkin, Oslyab, Petropavlovsk and other ships of the Russian fleet. In Moscow, he built a machine-building plant, in which there was a unique technical library, design office and school of draftsmen. And he himself, as it turned out, was engaged in creation of new and improvement of existing internal combustion engines. Previously



Pic. 7. G. I. List (1835–1913).

unknown inventive activity of G. I. List and the description of its invention of the two-stroke kerosene internal combustion engine are presented by the authors of the article [12].

Having abandoned the steam boiler, which was the most cumbersome and expensive part of steam power plants, the industry gradually turned to the use of a more economical internal combustion engine. Mass production of cars, as well as the emergence of aircraft are associated with the emergence of ICE. Since 1860, in different countries, the efforts of inventors to create such engines with better parameters have been concentrated around finding the most efficient thermodynamic cycle, the design and location of the pistons, the combustible mixture used, the ignition system and adjusting the supply of the combustible mixture.

E. E. Bromley, a mechanical engineer, one of the owners of the Bromley Brothers Society engaged in engine building, a graduate of the Imperial Moscow Higher Technical School (IMHTS), wrote the fundamental work «Gas, Petrol and Kerosene Engines» (1900). This book appeared in connection with the competition announced by the Polytechnic Society at IMHTS. It contains not only the history of internal combustion engines, but also the analysis of phenomena occurring in cylinders, calculations of various parameters of internal combustion engines – temperature and pressure, combustion rates, cooling surfaces.

In the same period, theoretical work on the thermal calculation of the internal combustion engine of Professor V. I. Grinevetsky of IMHTS [13] is becoming popular. In 1906, he proposed his own design of a two-stroke dual-expansion internal combustion engine.

Setting itself a task of promoting the development of technology and industry in Russia, IRTS promoted the best achievements of domestic engineers. At the meetings of the society, reports were made on new designs of diesel engines, reversible internal combustion engines, their application in urban and railway transport, on sea and river vessels, on the automotive industry and aircraft industry. Domestic engineers were sent to study world experience, their reports were discussed and published in order to provide them with wide access.



So, on April 15, 1904, engineer V. S. Melentyev made a report named «Tsoss experiences of movement at a speed of 200 kilometers per hour» [14]. Acquaintance with German projects and research provided considerable material for assessing the situation in one's own country. In Germany at that time a joint-stock company was created, the goal of which was to organize high-speed traffic in the area between Berlin and Hamburg. For several years, tests of movement of electric trains (they received the name of Tsoss experiments), began at a speed of 80 km/h and then, gradually adding, reached a top speed of 200 km/h.

Much research work was carried out in IRTS on the use of gasoline and kerosene engines for aircraft and automobiles. In 1907, the first international exhibition of automobiles was held in St. Petersburg, where exhibits of the world's largest companies were displayed, including a description of automobile engines, their diagrams and drawings.

In 1909, a permanent automobile and aviation commission, chaired by Professor N. S. Lavrov was organized. Given the leading position of Russia in the world in production and improvement of Diesel engines, IRTS decides to hold from 6 to 15 May 1910 in St. Petersburg the «Congress of personalities engaged in construction and use of internal combustion engines», to which many prominent foreign experts were invited including Rudolf Diesel. About 200 people arrived at the congress. Among them there were famous university professors N. A. Bykov, V. I. Grinevetsky, G. F. Depp, N. R. Brillling, D. S. Zernov, V. P. Arshaulov and representatives of all Russian factories that built engines, and many organizations associated with operation of engines.

Conclusion. Despite all the efforts and the fact that in the field of inventions and development of the theory of internal combustion engines, Russian engineers did not yield to their foreign colleagues, the automotive industry in Russia did not receive mass development at that time [15]. Many projects and developments of domestic authors have not found practical implementation. This is largely due to the fact that Russian large-scale industry has always developed, focusing primarily on government orders. Russian engineers were and still remain the generators of new ideas and technologies that promise considerable progress in industry and transport, but at the stage of implementation and commercialization, they are often inferior to foreign competitors.

REFERENCES

1. Smyk, A. F., Makarenko, E. I. The Imperial Russian Technical Society Activities, Aimed at the National Industry Development. *Bylye gody. Rossiiskiy istoricheskiy zhurnal*, 2018, Iss. 48, pp. 598–609.
2. Bradley, J. Voluntary Associations in Tsarist Russia. Transl. from English. Moscow, Noviy khronograf publ., 2012, 448 p.
3. Saprykin, D. L. History of engineering education in Russia, Europe and the USA: development of institutions

and quantitative assessments [*Istoriya inzhenerного obrazovaniya v Rossii, Evrope i SSHA: razvitiye institutov i kolichestvennyye otsenki*]. *Voprosy istorii estestvoznaniya i tekhniki*, 2012, Iss.4, pp. 51–90.

4. Smyk, A. F. Historical experience of reforming engineering education in Russia [*Istoricheskiy opyt reformirovaniya inzhenerного obrazovaniya v Rossii*]. *Voprosy istorii estestvoznaniya i tekhniki*, 2015, Iss. 3, pp. 537–558.

5. Rzhonsnitsky, B. N. Tram as a Russian invention [Tramvai – russkoe izobretenie]. Moscow, Publishing House of Minkomkhoz of RSFSR, 1952, 84 p.

6. Grigoriev, N. D. Squirrel Cage in Three-Phase Motor. *World of Transport and Transportation*, Vol. 10, 2012, Iss. 1, pp. 180–189.

7. Bekrenev, V. Yu. Traction Power Supply: World Trends. *World of Transport and Transportation*, Vol. 10, 2012, Iss. 3, pp. 204–210.

8. Simonov, N. S. Development of the electric power industry of the Russian Empire: the background of GOELRO [*Razvitiye elektroenergetiki Rossiiskoi imperii: predystoriya GOELRO*]. Moscow, Russian Foundation for Promotion of Education and Science, 2016, 320 p.

9. Dubelir, G. D. Urban electric trams [*Gorodskie elektricheskie tramvai*]. Ed. by S. Yu. Krshizhanovsky [et al]. Kiev, S. P. Yakovlev Printing House Partnership, 1908, 400 p.

10. Melentiev, V. S. Electric suspended railways and the road system of the engineer Romanov. St. Petersburg, 1901 [*Elektricheskie podvesnye zheleznyye dorogi I doroga sistemy inzhenera Romanova. St. Petersburg, 1901*]. *Proceedings of the commission for consideration of issues on the use of electric traction in the communication routes*, 1905, Iss. 11, p. 34.

11. The mechanical plant of Ludwig Nobel: 1862–1912 [*Mekhanicheskiy zavod Lyudvig Nobel*]. St. Petersburg, R. R. Golike and A. Wilborg, 1912, 77 p.

12. Smyk, A. F., Spiridonova, L. V., Spiridonov, A. A. Gustav List – inventor of the internal combustion engine [Smyk, A. F., Spiridonova, L. V., Spiridonov, A. A. Gustav List – izobretatel dvigatelya vnutrennego sgoraniya]. *Gruzovik*, 2017, Iss. 12, pp. 40–44.

13. Grinevetsky, V. I. Thermal calculation of the working process of internal combustion engines [*Teplovoy raschet rabocheho protsesssa dvigatelei vnutrennego sgoraniya*]. Moscow, Tipo-lit. t-va I. N. Kushnerev and Co., 1907, 26 p.

14. Tsoss movement experiences at a speed of 200 kilometers per hour: Stenographic report on reports engineer. V. S. Melentyev and conversation in the 8th Department of I. R. Technical society, together with its 6th Department and commission on issues of electrical traction [*Tsossenskie opyty dvizheniya so skorost'yu 200 kilimetrov v chas: Stenograf. Otchet po doklinzh. V. S. Melentyev i beside v 8-m Otd. I. R. Tech.o-va sovместno s ego 6-m Otd. i Komis. po vopr.elektr.tyagi*], compiled at Permanent committee of All-Russian Electrical Congresses, April 15, 1904, under guidance of A. N. Gorchakov, St. Petersburg, 1904, 46 p.

15. Smyk, A. F., Spiridonova, L. V., Spiridonov, A. A. From the history of creation of domestic internal combustion engines [*Iz istorii sozdaniya otechestvennyh dvigatelei vnutrennego sgoraniya*]. *Istoriya nauki i tekhniki*, 2015, Iss. 11, pp. 24–32.

Information about the authors:

Smyk, Alexandra F. – D.Sc. (Physics and Mathematics), head of the Physics department of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, afsmyk@mail.ru.

Kuzmina, Natalia B. – senior lecturer of the Physics department of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia, Nbbezrodnaya@gmail.com.

Article received 30.08.2018, accepted 24.10.2018.