

УДК 656.251:930.2

**С. В. Власенко, канд. техн. наук**

**С. А. Сушков**

**С. В. Гришечко, канд. техн. наук**

*Кафедра «Автоматика и телемеханика»,*

*Омский государственный университет путей сообщения*

## **АВГУСТИН БЕТАНКУР КАК СОЗДАТЕЛЬ УСТРОЙСТВ СИГНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ПЕРВЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ЕВРОПЫ И ПРЕДВЕСТНИК СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ**

В статье рассказывается о зарождении принципов сигнализации, их назначении и развитии с IV века до н.э. и до появления полноценного оптического телеграфа в XVIII столетии. Описаны исследования Клода Шаппа об особенностях человеческого зрения и обоснование выбора цветов для оптического телеграфа, которые (с небольшими изменениями, учитывающими развитие техники) используются в современных системах железнодорожной и автомобильной сигнализации. Представлен передающий аппарат и алфавит Клода Шаппа с документальными примерами его использования во Франции, указаны основные недостатки этого способа передачи данных. Далее приводится альтернативный принцип передачи данных с помощью одного крыла семафора в оптическом телеграфе, разработанном и в 1798 году внедренном между Мадридом и Кадисом (Испания) Августином Бетанкуром. Показаны схемы аппаратов оптического телеграфа Августина Бетанкура, дано их сравнение с механическими сигналами на железнодорожном транспорте. Со ссылками на исторические документы и свидетельства дается эволюция оптического телеграфа Августина Бетанкура от систем передачи данных между городами до систем обмена информацией между соседними постами и станциями, необходимых на первых этапах развития рельсового транспорта. Представлено развитие телеграфа от механических устройств поворотом на 45 градусов, извещавших о приближении поезда к посту, к полноценным сигналам для машинистов, которые положением крыла стали передавать информацию о необходимости остановки или о разрешении на проследование маршрута с максимальной либо ограниченной скоростью. В качестве переходного этапа от механических к электрическим сигналам на железнодорожном транспорте поясняется принцип работы семафоров с зажигаемыми в ночное время керосиновыми лампами со светофильтрами, механически связанными с положением крыла. На примере развития семафоров изложены исторические причины появления систем сигнализации, использующих комбинационные показания с двумя огнями. Статья открывает новую, не слишком известную ранее страницу деятельности первого ректора первого транспортного вуза России в качестве разработчика систем передачи данных с помощью оптического телеграфа, чьи изобретения пережили автора и в усовершенствованной благодаря развитию техники форме используются на железнодорожном транспорте в наши дни.

Августин Бетанкур, восприятие цвета глазом, оптический телеграф, семафор, железнодорожная автоматика, оптическая передача данных между станциями, извещение о приближении поезда, первые механические сигналы для машинистов, керосиновые лампы для информации о положении крыла, второе крыло семафора, появление электричества, замена крыльев семафора электрическими лампами, светофор, переход на одну лампу в современных системах сигнализации

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4- 631-644

## Введение

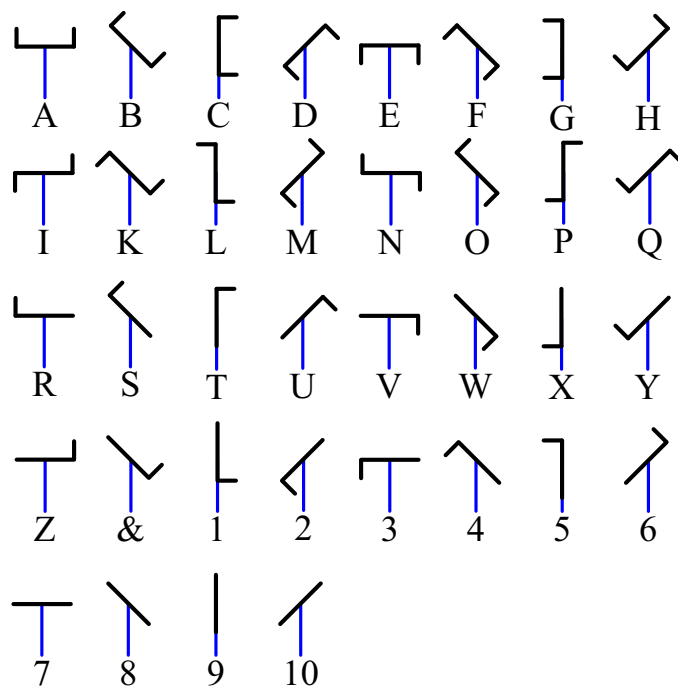
Августин Хосе Педро дель Кармен Доминго де Канделярия де Бетанкур-и-Молина, основатель и первый руководитель созданного в 1809 году в Санкт-Петербурге Института инженеров путей сообщения, известный в первую очередь как специалист по механике, химии, статике и архитектуре, завершил свой жизненный путь в 1824 году, всего за год до появления первой в мире железной дороги общего пользования с паровой тягой (1825, участок Стоктон – Дарлингтон в Англии) [1]. Однако созданные под его руководством устройства передачи данных пережили их создателя и обеспечили безопасность движения поездов на первых железных дорогах Европы [2]. Замена им пришла лишь во второй половине XIX столетия с началом использования электричества для передачи информации на расстояние. Поэтому мы можем по праву считать Бетанкура предвестником систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи, разработанных впоследствии для обеспечения безопасности и управления движением на рельсовом транспорте. И хотя эти изобретения применялись на железных дорогах России лишь опосредованно [3], созданные под его руководством первые системы сигнализации в Испании и Франции и построенные его последователями линии оптической передачи данных в Германии на определенном историческом этапе были единственным средством для согласования между дежурными по соседним станциям отправления, прибытия и порядка следования поездов по перегону [4]. Сами же оптические устройства – после начала применения электричества для передачи данных на расстояние – определили название, форму и окраску первых железнодорожных механических сигналов, вошедших в обиход многих стран как семафоры (*sema* по-гречески «знак», *phoros* – «несущий») [5]. Сохранив старое название, они стали использоваться для передачи оптических данных уже не между дежурными соседних станций, а между дежурным по станции и машинистом. «Наследники» этих устройств – известные нам железнодорожные светофоры, которые во многих странах Европы еще долго, вплоть до начала XX столетия, по привычке называли оптическим телеграфом [2]. Возможным историческим последствием такой «миграции» семафоров от устройств оптической связи к устройствам автоматики является сведение в одну службу систем связи и СЦБ, которое и сейчас практикуется на многих железных дорогах мира.

## 1. Зарождение принципов сигнализации и их развитие до изобретений Августина Бетанкура

Слово «семафор» не случайно имеет греческие корни. Греки, лучшие мореходы своего времени, еще в IV веке до н. э. ввели в обиход визуальную передачу данных на море. В солнечную погоду это делалось с помощью специальных отражающих зеркал, установленных на кораблях, а в темное время суток — с помощью костров. Знаками моряки передавали друг другу сообщения, координировали свои действия и согласованно боролись с неприятелем. И хотя до появления единой системы оптической сигнализации со своей азбукой было еще далеко, в разных регионах мира специальные огни (или прерывание их свечения с помощью различных средств в оговоренном порядке) долгое время использовались для передачи на расстояние экстренных сообщений.

Родившийся в семье, ведущей происхождение от короля Канарских островов, Августин Бетанкур был с детства знаком с этой оптической системой, поскольку при правительственной резиденции на Тенерифе, главном острове этого архипелага, существовала наземная сеть передачи визуальных сообщений [6]. Горный рельеф острова определил расположение сигнальных башен, которые при появлении неприятеля оповещали военных, да и всех жителей острова, об опасности, а погасшими или мигающими огнями указывали на место расположения неприятеля. Некоторые из сигнальных башен на другом испанском архипелаге — Балеарских островах — сохранились до сего дня.

Предшественник Бетанкура французский инженер Клод Шапп (1763–1805) предложил единую форму механических сигналов с крыльями, а также соответствующую вариантам положения крыльев семафора и дополнительных линеек латинскую азбуку с цифрами (рис. 1), которая получила широкое распространение в конце XVIII столетия во Франции [7]. Первую линию оптического телеграфа построили в 1793–1794 годах между Парижем и Лиллем. Информация на расстояние 225 км передавалась с помощью 22 промежуточных станций. Первое практическое использование этой линии произошло 1 сентября 1794 года, когда в Париже была получена депеша для Национального конвента о победе армии Французской республики над австрийцами. Для обеспечения максимально возможной дальности передачи оптической информации (свыше 10 км) Клод Шапп провел экспериментальные исследования восприятия различных цветов человеческим глазом. Белый и красный цвета были определены как наиболее чувствительные для зрения [8]. Именно поэтому крылья и линейки оптического телеграфа стали окрашивать в белый цвет с красной окантовкой (рис. 2). Те же цвета впоследствии применялись как основные для разрешающего (белый) и запрещающего (красный) показаний на железнодорожном транспорте до конца XIX столетия, пока не появилось электрическое уличное освещение и не потребовалось заменить схожий со светом первых электроламп белый цвет на следующий по чувствительности в шкале испытаний Клода Шаппа (табл. 1) [9].

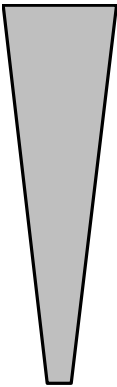


**Рис. 1.** Алфавит оптического телеграфа К. Шаппа



**Рис. 2.** Станция оптического телеграфа во Франции, на иллюстрации представлен момент передачи буквы „Q“

**Таблица 1.** Цвета сигнализации на железнодорожном транспорте

Цвет	Видимость (по Шаппу)	Основное применение цвета	
		Исторически	В настоящее время
Белый		Проследование	Маневровые и вспомогательные сигналы
Красный		Остановка	Остановка
Зеленый		Предупреждение	Проследование
Синий		—	Остановка (для маневровых в некоторых странах)
Желтый/ оранжевый	Не проверялось	—	Предупреждение



**Рис. 3.** Вид современного механического сигнала на железных дорогах Германии. Красно-бело-красная вертикальная полоса на мачте сигнала указывает на его абсолютное значение и требует безусловной остановки при горизонтальном (запрещающем) положении крыла

Белый и красный цвета по-прежнему используются для окраски крыльев механических сигналов (рис. 3) на многих железных дорогах для обозначения статуса светофора (станционный/перегонный), а также в основных дорожных знаках для автотранспорта.

## 2. Предложенный испанским инженером принцип передачи данных на расстояние с помощью крыла семафора

После совершеннолетия Августин Бетанкур был направлен в испанскую армию, а затем, в 20 лет, в чине старшего офицера переведен в Париж, где получил всестороннее научное образование. После этого испанское правительство направило его в наиболее развитые страны Западной Европы для обозрения систем судоходства, каналов, паровых машин и последних технических изобретений. В 1798 году Бетанкуру было поручено устройство оптического телеграфа между Мадридом и Кадисом и организация в Испании Корпуса инженеров путей сообщения (сегодня – Политехнический университет Мадрида), которым он руководил с 1802 по 1807 годы. При организации оптического телеграфа Бетанкур учел недостатки системы Клода Шаппа, обусловленные сложной конструкцией управляемых человеком крыльев и линеек. Для его усовершенствования (а точнее – упрощения) Августин Бетанкур предложил использовать только одно крыло семафора без управляемых линеек. Подобно стрелке на часах, в зависимости от угла поворота относительно мачты оно определяло цифру или букву алфавита (рис. 4). Бетанкур установил, что человеческий глаз с помощью вспомогательных устройств способен безошибочно определять поворот

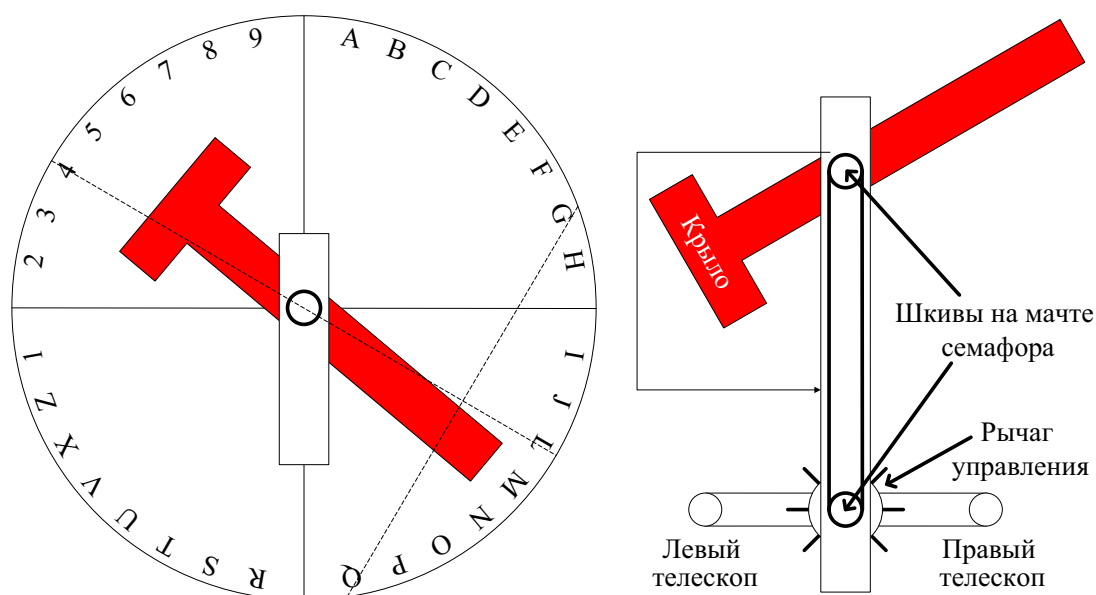
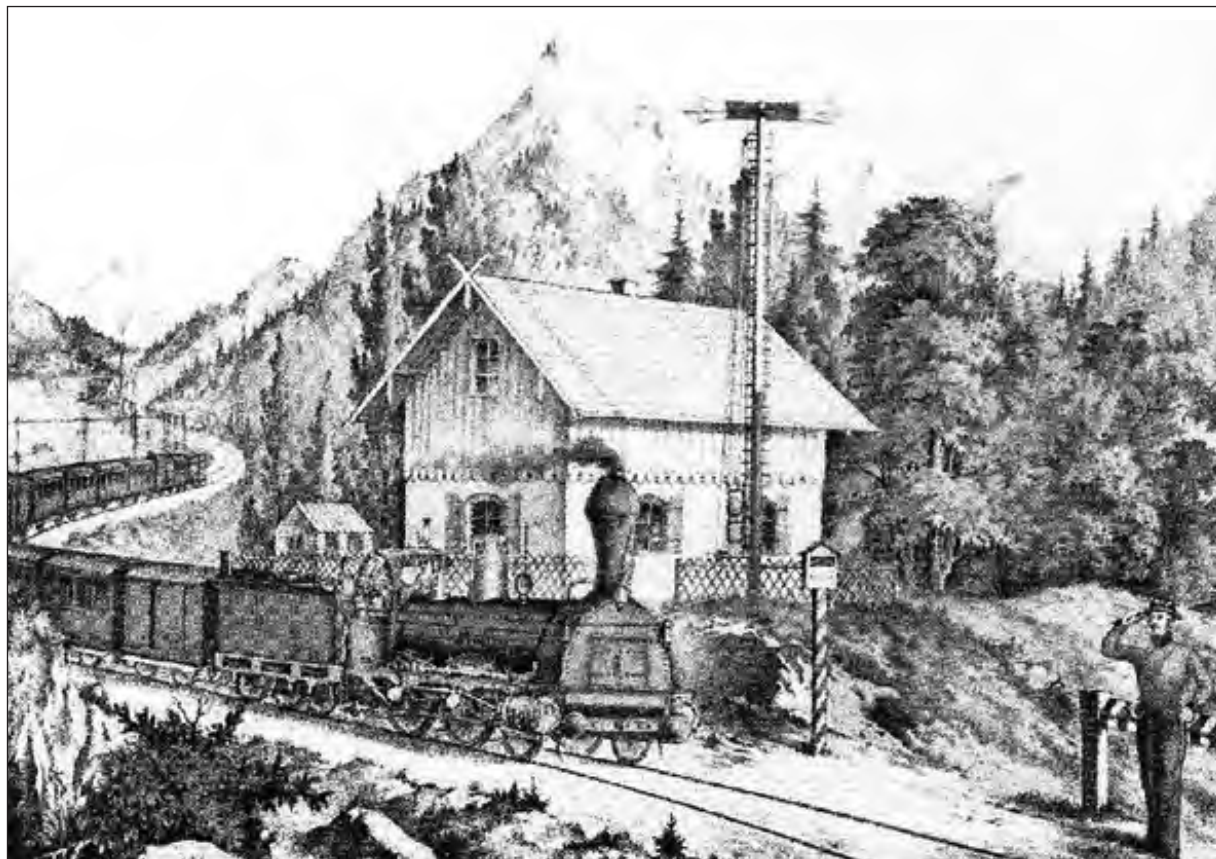


Рис. 4. Оптический телеграф, разработанный Августином Бетанкуром

крыла на угол не менее 10 градусов. Таким образом, появилась возможность передачи 36 знаков (цифр и букв; при этом горизонтальное положение крыла в 0 градусов считалось нерабочим) на значительные расстояния с помощью простого устройства [6]. Как и стрелка часов, крыло должно было оставаться несимметричным, что было достигнуто установкой на одной из сторон поперечной линейки, а в более поздних системах сигнализации — утолщения или круга. Эта предложенная испанским инженером форма крыла телеграфного сигнала и стала прообразом семафора, используемого на второстепенных железнодорожных линиях многих стран мира и по сей день (см. рис. 3).

### **3. Семафор Бетанкура: путь от телеграфа к передаче команд машинисту**

Первые железные дороги Европы строились между крупными городами, где, как правило, уже имелась линия оптической связи. Там же, где ее не было, устройства оптической сигнализации создавались специально для железных дорог и располагались рядом с постами станций и переездов, откуда визуальным методом происходил обмен информацией между городами, а для обеспечения безопасности перевозочного процесса — также между дежурными по соседним станциям. В целях сохранения единой системы передачи данных первое время не использовались специальные сигналы для железных дорог, и запрос на отправление поездов на перегон дежурные отправляли в виде текста, буква за буквой. Лишь позднее были предложены специальные знаки для ускорения передачи данных о движении поездов. Так, например, извещение об отправлении поезда на перегон и соответственно этому оповещение о приближении поезда для дежурных по переездам передавалось поднятием крыла семафора на угол 45 градусов. Оно транслировалось в направлении движения поезда от поста к посту, пока не достигало участка, занятого предшествующим поездом, где (до освобождения секции) крыло семафора оставалось в исходном горизонтальном положении [2]. И хотя изменение положения крыла визуального телеграфа всего лишь извещало посты о приближении поезда, косвенным образом оно могло служить для оповещения машиниста о свободности следующего участка. С учетом большого количества переездов на железной дороге (в Германии и Австрии переезды в среднем приходились на каждый километр пути, в Англии — на каждые несколько километров) расстояние между постами было невелико. Поэтому в размещении высоких башен для передачи визуальных сигналов на 10–12 км, как в первых оптических системах, не было необходимости. Чаще всего семафоры устанавливали на крышах зданий или на мачтах вдоль железнодорожной линии. Благодаря этому их положение могли видеть машинисты проезжающих поездов. Но в то время показания семафоров служили только задачам визуального телеграфа, а команды к отправлению поезда или его остановке передавались машинисту флажками или специальными знаками непосредственно от дежурных по станциям и переездам (рис. 5) [4].



**Рис. 5.** Дежурный по переезду обеспечивает пропуск поезда по участку. Установленный на высокой мачте у здания поста оптический сигнал предназначен для обмена информацией между дежурными (литография из Южной Германии)

Через несколько десятилетий электрический сигнал заменит визуальный телеграф, появятся аппараты Морзе и Сименса, которые придут на железные дороги России как раз к началу эксплуатации первой линии дальнего следования между Санкт-Петербургом и Москвой. По этой причине на железнодорожных магистралях Российской империи никогда не будет оптического телеграфа. В истории страны останутся лишь небольшие линии оптической связи между Санкт-Петербургом и пригородами, не имеющие отношения к рельсовому транспорту. А когда на железные дороги России придут «потомки» визуального телеграфа – поездные семафоры, они изначально будут восприниматься как сигналы для машинистов [3]. И лишь благодарная память о первом руководителе Института инженеров путей сообщения в Санкт-Петербурге дает нам повод проследить историю появления семафора, первых систем обеспечения безопасности движения поездов и личный вклад Августина Бетанкура в их создании.

В Европе миграция от семафоров как устройств для оптического телеграфа к сигналам для машинистов поездов происходила постепенно. Если на новых и магистральных линиях внедрялся электрический телеграф, то старые и второстепенные линии еще многие десятилетия использовали оптические системы




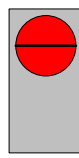

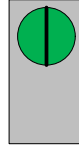

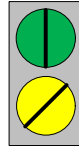
передачи данных. Когда же семафоры оказывались ненужными для обмена данными между постами, их применяли для удаленной передачи информации машинисту о разрешении на движение либо требовании остановки. На первых порах достаточно было всего двух показаний сигнала, поэтому положение крыла семафора (горизонтальное — для остановки, а поднятое на 45 градусов — для движения) определяло всю необходимую машинисту информацию [10]. Для передачи команд в темное время суток на мачте семафора устанавливалась керосиновая лампа, а к подвижному крылу крепились светофильтры, которые в соответствии с положением крыла горели красным или белым (впоследствии зеленым) цветом (см. рис. 3). При восходе солнца керосиновые лампы тушили, и днем лишь угловое положение крыла (так же, как и в изобретенной Бетанкуром системе передачи данных на расстояние) указывало машинисту на разрешение или запрещение проследования сигнала.

#### **4. Отход от идей Бетанкура и возвращение к ним в принципах современной железнодорожной сигнализации в XXI веке**

Когда скорости следования поездов выросли до такой степени, что потребовался дополнительный сигнал, предупреждающий о необходимости их снижения перед въездом на станцию при следовании по маршруту с отклонением, логично было бы следовать идеям основателя систем сигнализации и использовать поворот крыла семафора на другой хорошо различимый для машиниста угол для разрешения движения с ограниченной скоростью. Но в то время предпочли установить на семафор дополнительное крыло, которое занимало положение 45 градусов для сигнализации следования поезда с пониженной скоростью и принимало вертикальное положение в остальных случаях (рис. 6). Два крыла семафора означало «два огня в ночное время», и таким образом в большинство сигнальных систем Европы вошло показание «два огня, нижний желтый», сигнализирующее о въезде на боковой путь станции [11]. В этой связи отметим, что в последних универсальных системах сигнализации (например, в современной голландской системе, в немецкой системе Ks и швейцарской системе N), разработанных в начале нынешнего столетия, предпочли вернуться к идеям Августина Бетанкура и использовать только «одно крыло», т. е. только одну лампу на все случаи сигнализации, а предупреждение об ограничении скорости передавать различными цветами и режимами мигания [12, 13].

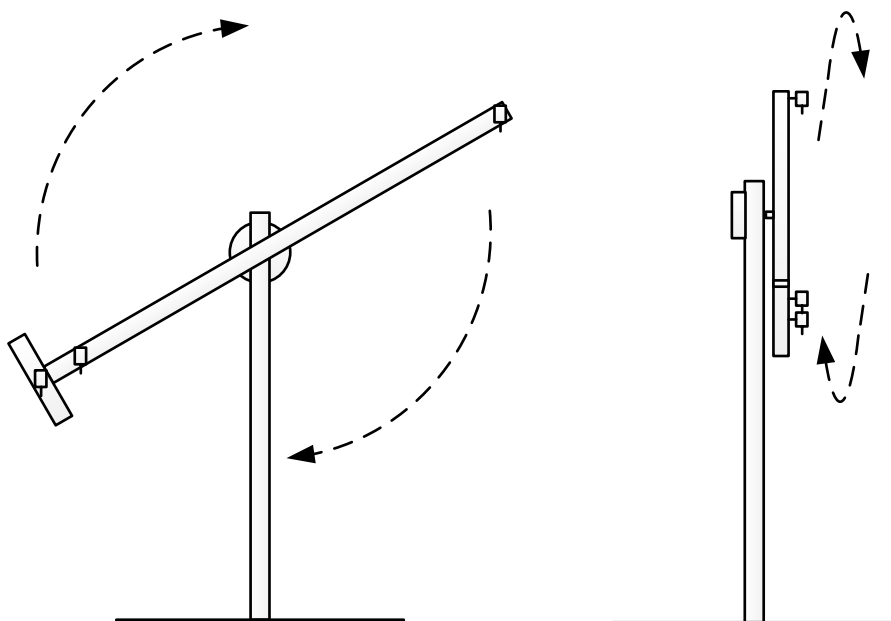
Однако вернемся в конец позапрошлого столетия. Управлять сигналами стали с помощью электричества, необходимые для движения поездов огни семафора теперь могли гореть днем и ночью, и положение крыльев потеряло свое первоначальное значение.

На современных светофорах машинистам достаточно лишь световых показаний для определения скорости следования поезда. Предполагается, что вскоре напольные светофоры потеряют свое значение, а необходимая для движения

Действие	Механический сигнал	Световой сигнал
Остановка		
Проследование		
Проследование по боковому пути со снижением скорости		

**Рис. 6.** Сигнализация семафоров и соответствующих показаниям крыльев сигнальных ламп для остановки и проследования по главному и по боковому пути

информация будет поступать от поста централизации сразу на локомотив [14]. Впрочем, от изобретенной испанским инженером системы передачи данных кое-что останется на железных дорогах, видимо, навсегда. В оговоренных инструкциях экстренных ситуациях дежурный разработанного Бетанкуром телеграфного поста должен был подавать аварийный сигнал движением крыла по кругу (рис. 7) [6]. На подавляющем большинстве железных дорог мира тот же



**Рис. 7.** Аварийная сигнализация в разработанной Бетанкуром системе передачи данных

знак — вращение по кругу рукой днем и любым огнем ночью — используется для передачи машинисту команды экстренной остановки.

### Заключение

В 2011 году в Музее науки и космоса (провинция Санта-Крус-де-Тенерифе, Испания) в память о великом сыне Канарских островов установили разработанный Августином Бетанкуром механический сигнал [15, 16], ставший через полсотни лет после его изобретения прообразом первого механического сигнала для железнодорожного транспорта. В 1978 году между орбитами Марса и Юпитера была открыта малая планета под номером 11446, в честь великих достижений испано-российского инженера получившая название — Бетанкур. Так имя первого ректора первого транспортного вуза России и предвестника систем железнодорожной автоматики вошло в вечность.

### Библиографический список

1. Коновалова Н. Лекало Бетанкура / Н. Коновалова // Санкт-Петербургские ведомости. — 5.12.2019.
2. Pottgießer H. Sicher auf den Schienen. Fragen zur Sicherheitsstrategie der Eisenbahn von 1825 bis heute / Hans Pottgießer: Springer Basel AG, 1988. — 261 s.
3. Theeg G. Streckensicherungstechnik in Russland / Gregor Theeg, Sergey Vlasenko // Signal+Draht. — 2007. — № 1–2. — S. 34–38.
4. Suwe Karl-Heinz. Entwicklung der Signaltechnik — ein Blick zurück/Karl-Heinz Suwe // Signal & Draht. — 2006. — № 1–2. — S. 19–36.
5. Власенко С. В. Мир железнодорожной автоматики, информатики и связи / С. В. Власенко // Автоматика, связь, информатика. — 2010. — № 4. — С. 42–44.
6. Agustin de Betancourt. Un ingeniero canario universal // Museo de la ciencia y el cosmos. — 2011. — 48 p.
7. Theeg G. Railway Signalling & Interlocking / G. Theeg, S. Vlasenko (eds.) // International Compendium. 3rd Edition, PMC Media, 2020. — 560 p.
8. Власенко С. В. Системы сигнализации на железных дорогах мира / С. В. Власенко, Г. Теег, У. Машек // Автоматика, связь, информатика. — 2007. — № 3. — С. 46–48.
9. Theeg G. Analyse europäischer Signalsysteme / Gregor Theeg, Ulrich Maschek // Signal+Draht. — 2005. — № 6. — S. 18–23.
10. Machner C. Eine vergleichende Betrachtung internationaler Lichtsignalbilder / Claudia Machner, Göran Unzner // Der Eisenbahningenieur. — 2013. — № 1. — S. 12–18.
11. Pachtl J. Systemtechnik des Schienenverkehrs — Bahnbetrieb planen, steuern und sichern (9. Aufl.) / Jörn Pachtl // Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018. — 295 s.
12. Теег Г. Сигнализация на железных дорогах Европы / Г. Теег, С. В. Власенко // Железные дороги мира. — 2006. — № 11. — С. 61–64.
13. Pachtl J. Besonderheiten ausländischer Eisenbahnbetriebsverfahren (2. Aufl.) / Jörn Pachtl // Wiesbaden: Springer Vieweg, 2019. — 58 s.
14. Feltz A. Bahnbetrieb im 21. Jahrhundert / A. Feltz // Signal+Draht. — 2010. — № 10. — S. 3–5.

15. Erinnerungen an die Zukunft // Teneriffa Panorama, 19.05.2011. URL: <http://www.teneriffapanorama.es/1000003/1000031/0/32927/article.html> (Zugang: August 05, 2021) (In Russland)
16. Nuevo módulo en la plaza del “Cosmos”, 12.05.2011. URL: <https://www.museosdetenerife.org/mcc-museo-de-la-ciencia-y-el-cosmos/nuevo-modulo-en-la-plaza-del-cosmos/> (Acceso: agosto 05.2021) (En Rusia)

**S. V. Vlasenko, S. A. Sushkov, S. V. Grishechko**

*Omsk State Transport University*

## **AGUSTIN DE BETANCOURT AS CREATOR OF OPTICAL TELEGRAPH MACHINE USED ON THE FIRST EUROPEAN RAILWAY LINES AND PRECURSOR OF RAILWAY SIGNALLING SYSTEMS**

The origin of signalling principles, their purpose and development since the 4th century BC are described. Claude Chappe's research on the peculiarities of human vision and the rationale for the choice of colors for the optical telegraph are presented. These principles are used in modern rail and road signaling systems with slight modifications to reflect the development of technology. The transmission apparatus and the Claude Chappe alphabet are presented, documentary examples of its use in France are proposed, and the main disadvantages of this principle of data transmission are indicated. Further in the article, an alternative principle of data transmission using a single semaphore wing in an optical telegraph is presented. It was developed and introduced in 1798 between Madrid and Cadiz (Spain) by Agustin de Betancourt. The article shows the diagrams of the optical telegraph apparatus of Agustin de Betancourt, and also gives its comparison with first mechanical signals used in railway transport. With references to historical documents and evidence, the evolution of the optical telegraph by Agustin de Betancourt from data transmission systems between cities to systems for the exchange of information between neighboring railway posts and stations on the first railway lines is presented. The evolution of the telegraph from mechanical devices announcing the train approach to the railway post to the signals for train drivers thanks to the change of wing position is shown. As a transitional stage from mechanical to electrical signals in railway transport, the principle of operation of semaphores with kerosene lamps lit at night with light filters mechanically connected to the position of the wing is explained. Based on development of mechanical signals, the historical reasons for signal aspect with two lamps in different modern signalling systems are presented. The article opens a new, previously little-known page of the activities by Agustin de Betancourt, who was not only the first rector of the first transport high school in Russia but also one of developers of data transmission systems used optical telegraph. His inventions such as mechanical signal with one wing are using in improved form in railway signalling systems up today.

Agustin de Betancourt, semaphore, optical telegraph, mechanical signal, signal aspect for train approaching, semaphore wing turns, different lights instead of wing angle, railway signalling systems based on Betancourt's innovation

DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4- 631-644

### **References**

1. *Konovalova N.* (2019) De Betancourt's High Standart. *Sankt-Peterburgskie Vedomosti*, 5.12.2019. (In Russian)

2. Pottgießer H. (1988) *Sicher auf den Schienen. Fragen zur Sicherheitsstrategie der Eisenbahn von 1825 bis heute*. Hans Pottgießer, Springer Basel AG, s. 261.
3. Theeg G., Vlasenko S. (2007) Streckensicherungstechnik in Russland. *Signal+Draht*, no. 1–2, s. 34–38.
4. Suwe Karl-Heinz. (2006) Entwicklung der Signaltechnik – ein Blick zurück. *Signal & Draht*, no. 1–2, s. 19–36.
5. Vlasenko S. V. (2010) Mir zheleznodorozhnoy avtomatiki, informatiki i svyazi [The world of signals and interlocking, informatics and signal communication]. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, communication, informatics], no. 4, pp. 42–44. (In Russian)
6. Agustin de Betancourt. Un ingeniero canario universal. *Museo de la ciencia y el cosmos*, 2011, 48 p.
7. Theeg G., Vlasenko S. (2020) *Railway Signalling & Interlocking*. International Compendium. 3<sup>rd</sup> ed., PMC Media, 560 p.
8. Theeg G., Vlasenko S., Maschek U. (2007) Sistemy signalizatsii na zheleznykh dorogakh mira [Signals and interlocking on the railways of the world]. *Avtomatika, svyaz, informatika* [Automation, communication, informatics], no. 3, pp. 46–48. (In Russian)
9. Theeg G., Maschek U. (2005) Analyse europäischer Signalsysteme. *Signal+Draht*, no. 6, s. 18–23.
10. Machner C., Unzner G. (2013) Eine vergleichende Betrachtung internationaler Lichtsignalbilder. *Der Eisenbahningenieur*, no 1, s. 12–18.
11. Pachl J. (2018) *Systemtechnik des Schienenverkehrs – Bahnbetrieb planen, steuern und sichern* (9. Aufl.). Wiesbaden, Springer Vieweg Publ., 295 s.
12. Theeg G., Vlasenko S. (2006) Signalizatsiya na zheleznykh dorogakh Yevropy [Signals and interlocking on the railways of Europe]. *Zheleznyye dorogi mira* [Railways of the World], no. 11, pp. 61–64. (In Russian)
13. Pachl J. (2019) *Besonderheiten ausländischer Eisenbahnbetriebsverfahren* (2. Aufl.) Wiesbaden, Springer Vieweg Publ., 58 s.
14. Feltz A. (2010) Bahnbetrieb im 21. Jahrhundert. *Signal+Draht*, no. 10, s. 3–5.
15. Erinnerungen an die Zukunft. Teneriffa Panorama, 19.05.2011. Available at: <http://www.teneriffapanorama.es/1000003/1000031/0/32927/article.html> (Zugang: August 05, 2021) (In Russland)
16. Nuevo módulo en la plaza del “Cosmos”, 12.05.2011. Available at: <https://www.museosde-tenerife.org/mcc-museo-de-la-ciencia-y-el-cosmos/nuevo-modulo-en-la-plaza-del-cosmos/> (Acceso: agosto 05.2021) (En Rusia)

*Статья представлена к публикации членом редколлегии  
доцентом Д. С. Марковым*

*Поступила в редакцию 09.08.2021, принята к публикации 18.08.2021*

*ВЛАСЕНКО Сергей Валентинович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Омского государственного университета путей сообщения  
vlasenko@fh-erfurt.de

*СУШКОВ Сергей Александрович* – старший преподаватель кафедры «Автоматика и телемеханика» Омского государственного университета путей сообщения  
sushkovsa@mail.ru

*ГРИШЕЧКО Сергей Владимирович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика» Омского государственного университета путей сообщения  
svgrishechko@mail.ru

© Власенко С. В., Сушков С. А., Гришечко С. В., 2021