

пасности SIL, что требуют большинство заказчиков. Газодобывающая, нефтедобывающая и нефтехимическая промышленности первыми обратились к ИК-приборам, но сегодня появляются широкие перспективы применения этих приборов и в других отраслях, поскольку все больше предприятий склоняется к использованию систем обнаружения газов, основанных на инфракрасной технологии.

В будущем ИК-технология останется на вершине инноваций. Движение в направлении технологии селективной спектроскопии означает, что будущие поколения газоанализаторов будут иметь более высокую

чувствительность и способность обнаруживать более широкий диапазон газов, включая токсичные газы при низких концентрациях.

Список литературы

1. Аносов А.А., Ефитов Г.Л., Зусман С.Д. Задачи оптимизации смешения товарных бензинов в реальном времени с использованием поточного анализа качества смеси // Автоматизация в промышленности. 2013. №6.
2. Аносов А.А., Ефитов Г.Л., Зусман С.Д. Опыт использования ИК-спектрометрии для измерения свойств бензинов на НПЗ // Автоматизация в промышленности. №7. 2012.

Питер Хэрри — менеджер по стратегическому маркетингу стационарных газоанализаторов премиум-класса компании Honeywell Analytics (EMEA).

Контактный телефон (495) 960-95-73.

Email: ha.ru@honeywell.com

<http://www.honeywellanalytics.com>

РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРЫ DTSX200 ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НЕФТИ И ГАЗА

Тору Фукузава (Yokogawa Electric Corporation)

Представлены конструктивные особенности, технические характеристики и функциональные возможности распределенного датчика температуры DTSX200, обеспечивающего эффективную добычу нетрадиционных энергоресурсов путем контроля распределения температуры под землей. Датчик использует технологию оптического измерения, разработанную компанией Yokogawa.

Ключевые слова: технология оптического измерения, добыча нетрадиционных энергоресурсов, распределение температуры под землей, энергоэффективность.

Введение

В настоящее время разработка нетрадиционных ресурсов, таких как тяжелая нефть, нефтеносные пески и сланцевый газ, развивается наряду с ростом мирового энергопотребления. Добыча нетрадиционных энергетических ресурсов является трудоемкой [1]. На рис. 1 показан пример, как мазут извлекается из битуминозного песка путем понижения его вязкости паром. Для обеспечения эффективности процесса разработки месторождения необходимо контролировать изменения в распределении температуры под землей.

Для подобных областей применения разработаны оптоволоконные датчики распределенной температуры (DTS), которые могут измерять распределение

температуры вдоль оптоволоконной длиной в несколько километров [2]. При этом необходимо учитывать, что месторождения нефти и газа характеризуются суровыми условиями окружающей среды. Поэтому датчики температуры должны иметь допуск для работ в подобных непростых условиях [3].

Для удовлетворения потребностей заказчиков компания Yokogawa разработала датчик температуры DTSX200, измеряющий распределенные температуры вдоль оптоволоконной, используемого в качестве чувствительного элемента. Например, оптоволоконный кабель длиной 6 км может измерять значения температуры с интервалом в 1 м вдоль кабеля, суммарно обеспечивая 6 тыс. точек измерения.

Принцип измерения

В датчике DTSX200 в качестве чувствительного элемента используется оптическое волокно, внутри которого рассеивается падающий свет. На рис. 2 показан спектр рассеянного света в оптоволоконке. В соответствии с механизмом генерации рассеивания рассеянный свет делится на три типа: Рэлеевский рассеянный свет, частота которого равна частоте падающего света, Бриллюэновский рассеянный свет со сдвигом частоты приблизительно $\pm 10...13$ ГГц и комбинационное рассеяние света (эффект Рамана) со сдвигом частоты приблизительно $\pm 10...13$ ТГц. Датчик DTSX200 использует температурную зависимость интенсивности комбинационного обрат-

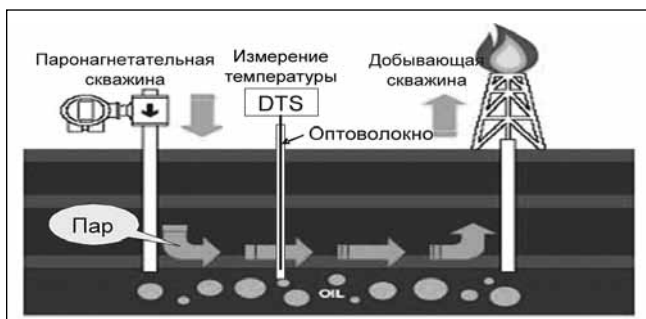


Рис. 1. Пример температурного контроля с помощью волоконно-оптического распределенного датчика температуры

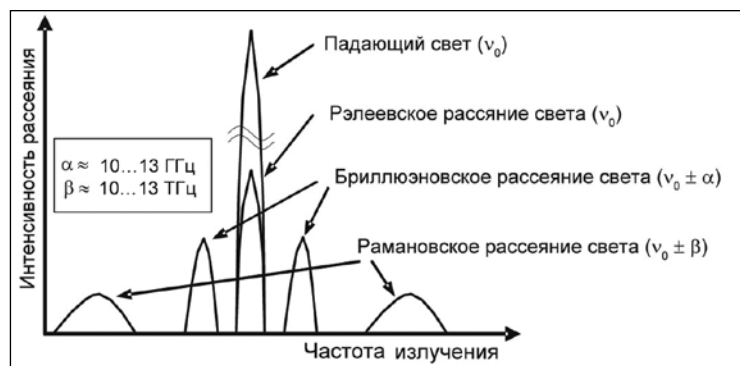


Рис. 2. Спектры рассеянного света

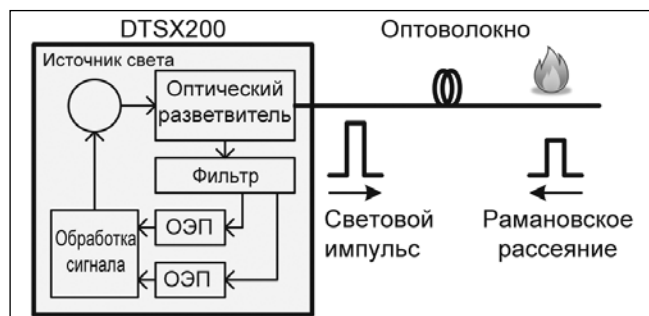


Рис. 3. Принципиальная схема измерения распределенной температуры

ного рассеивания света для измерения распределенной температуры. При подаче светового импульса на участке приема света наблюдается дискретизация интенсивности его комбинационного обратного рассеяния. Интервал дискретизации есть время от падения света до прибытия рассеянного света, порожденного в определенной точке. Интервал дискретизации определяет расстояние до этой точки и дискретизированную интенсивность комбинационного обратного рассеянного света, которая и определяет температуру в соответствующей точке. Таким образом измеряются распределенные значения температуры в продольном направлении оптоволоконного кабеля (рис. 3).

Отличительные особенности прибора

Устойчивость к суровой окружающей среде

Датчик DTSX200 имеет широкий рабочий температурный диапазон $-40...65\text{ }^{\circ}\text{C}$ и может стабильно измерять температуру в суровой окружающей среде. Длина волны излучения светоизлучающего элемента лазерного диода (LD) меняется в зависимости от температуры, поэтому необходимо управлять прибором Пельтье для поддержания его температуры постоянной. В DTSX200 лазерным диодом можно управлять даже при значительных изменениях температуры внешней среды. Это достигается за счет компактного размещения управляющих температурой элементов.

Коэффициент усиления фотодетектора лавинного фотодиода (APD) значительно изменяется в зависимости от температуры. Чтобы удержать коэффициент усиления постоянным относительно к температуре внешней среды, управляют отклоняющим напряжением.

В местах разработки нефти и газа могут существовать взрывоопасные или коррозионные газы. DTSX200 имеет взрывозащищенное исполнение. Учитывая, что это прибор низкого энергопотребления, взрывозащищенность обеспечивается подавлением электрического тока в точках соединений электронных схем. Чтобы добиться сопротивления к коррозии, компоненты прибора подвергались ускоренным испытаниям на коррозию. На рис. 4 показаны результаты аттестационного испытания оптических линз. Доступные коммерчески оптические линзы оценивались в течение 60 дней в атмосфере с высокой температурой и высокой влажностью, содержащей сероводород, который был эквивалентен 10-летнему тестированию в окружающей среде с коррозионным газом. Линзы образца В затемнились благодаря непригодным материалам покрытия и не могли дольше использоваться. Образец А не показал изменений в оптических характеристиках, хотя была найдена некоторая ржавчина на металлической части бокса объектива. В результате разработанной конструкции DTSX200 удовлетворяет стандартам FM, CSA и ATEX для взрывозащиты и стандарту ANSI/ISA-S71.04 класса G3 для сопротивления к коррозионным газам.

Компактный размер, легкий вес и низкое энергопотребление

Благодаря интеграции оптических систем и электронных схем размер датчика DTSX200, в сравнении с предыдущими моделями, был уменьшен приблизительно на 70%, что делает его одним из самых малоразмерных промышленных датчиков на рынке. В 19-дюймовую стойку с основным бло-

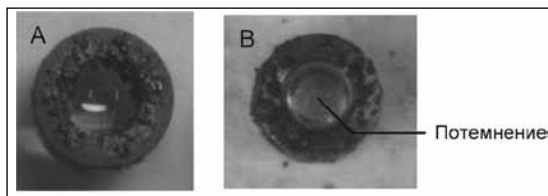


Рис. 4. Результаты ускоренного испытания на коррозию для оптических линз

Таблица. Основные характеристики DTSX200

Позиция	Характеристики
Диапазон измерения температуры, $^{\circ}\text{C}$	$-200...800$ (в зависимости от свойств оптоволоконного кабеля)
Разрешение по температуре, $^{\circ}\text{C}$	0,7 (при использовании 6 км оптоволоконного кабеля и измерении раз в 10 мин.)
Пространственное разрешение, м	1
Диапазон рабочей температуры, $^{\circ}\text{C}$	$-40...65$ (работа в указанном диапазоне обеспечивает наибольшую точность)
Энергопотребление, Вт	≤ 10 (основной блок DTSX200)
Устойчивость к коррозионным газам	Устойчив к G3 (ANSI/ISA-S71.04)
Взрывозащита	Сертификаты FM, CSA и ATEX
Интерфейсы связи	Modbus/TCP, SFTP, HTTPS



Рис. 5. Внешний вид DTSX200

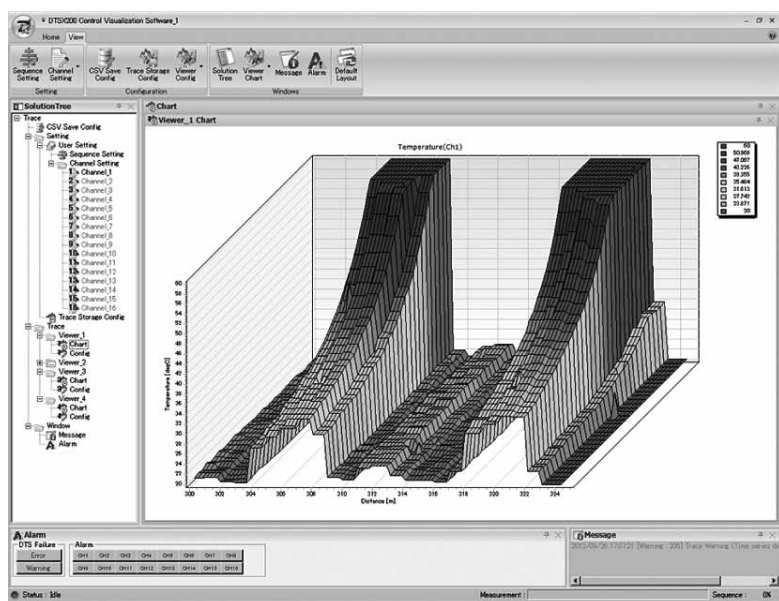


Рис. 6. Пример отображения температуры (ось x - расстояние, ось y - температура, ось z - время)

ком DTSX200 может быть установлен компактный модуль оптического переключателя для выбора отслеживаемых кабелей.

Энергопотребление DTSX200 удалось снизить благодаря использованию интеллектуальных контроллеров платформы STARDOM с низким энергопотреблением и компактному размещению управляющих температурой элементов, как указано выше. Энергопотребление прибора (основного блока) не превышает 10 Вт в рамках установленного температурного диапазона. Кроме того, DTSX200 имеет функцию энергосбережения, которая может автоматически отключать питание для измерительных цепей в тех случаях, когда не требуется непрерывное измерение температуры. Прибор может быть запитан солнечными батареями или перезаряжаемыми батареями, когда сетевое питание недоступно.

Совместимость с системами управления производством

Для увеличения эффективности производственных процессов добычи ресурсов датчик DTSX200 обладает функциями, обеспечивающими координацию его работы с промышленным контрольно-измерительным оборудованием [4].

Кроме того, функциональность датчика DTSX200 предусматривает:

1) совместимость с БД пользователя путем автоматической конвертации данных в форматы LAS (Log ASCII Standard) и WITSML (Wellsite Information Transfer Standard Markup Language), используемые в нефтегазовой промышленности;

2) интеграцию с системами управления, имеющимися на предприятии, через безопасные SFTP (Secure Shell File Transfer Protocol) или HTTPS (Hypertext Transfer Protocol over Secure Socket Layer) протоколы файловой передачи данных;

3) долговременное хранение передаваемых данных при обрыве проводной или беспроводной связи, и направление их по назначению после восстановления соединения (при использовании протокола HTTPS);

4) высокий уровень безопасности за счет функции идентификации пользователя, мер против введения ложной информации и пр.

В таблице отражены основные технические характеристики DTSX200. На рис. 5 показан внешний вид датчика DTSX200, оснащенного 16-канальным модулем оптического переключателя. Основной блок DTSX200 размещен в середине, модуль питания — слева, а модуль оптического переключателя — справа.

Модуль 16-канального оптического переключателя способен осуществлять температурные измерения для нескольких добывающих скважин. Модуль ЦПУ для производственной системы, использующей сеть STARDOM FCN-RTU, может быть встроен в слот, находящийся в левой части основного блока.

Датчик DTSX200 способен обрабатывать данные о температуре, поступающие по нескольким каналам. Для выполнения этой задачи потребуется опциональное прикладное ПО DTAP200, помога-

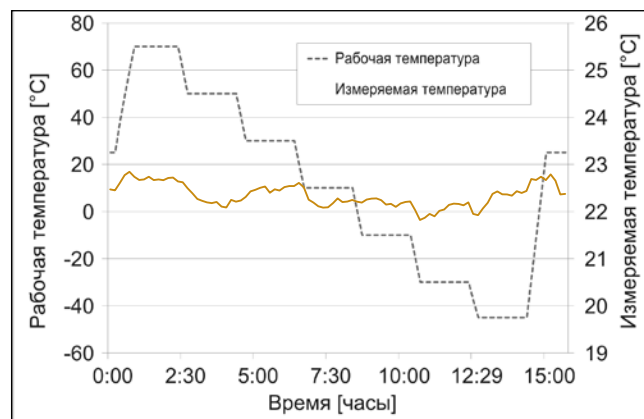


Рис. 7. Пример зависимости измеряемых характеристик от окружающей среды

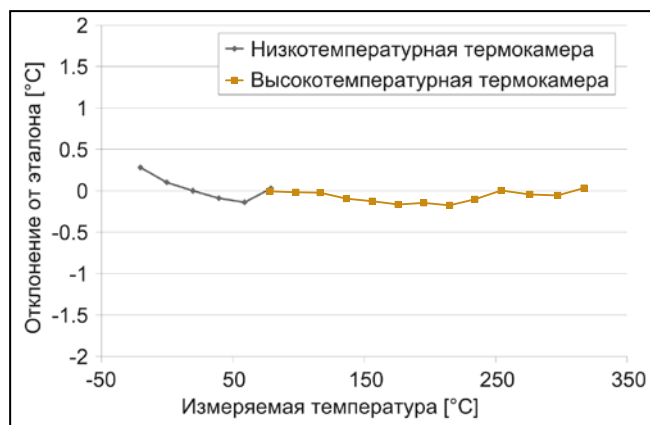


Рис. 8. Пример температурного измерения: от низких температур к высоким

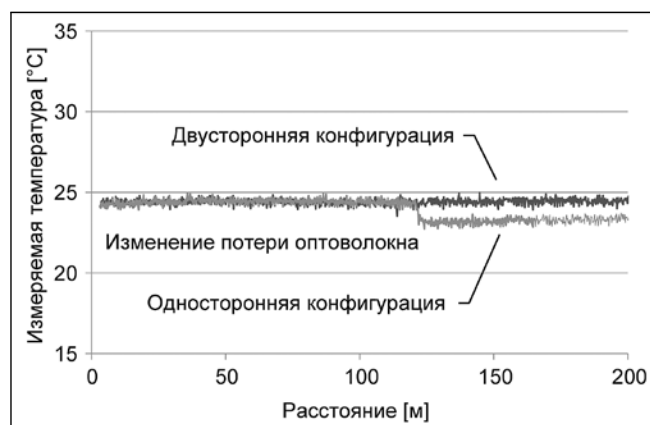


Рис. 9. Отклонения в измерениях с помощью оптоволоконна

ющее настроить датчик для отображения измеряемых данных DTSX. ПО DTAP200 поддерживает различные функции, в том числе: настройку и управление основным блоком DTSX200 и оптическим переключением, отображение измеренных результатов, анализ температурных изменений. Поддерживается настройка и отображение сигнализаций, передающих пользователю информацию, необходимую для мониторинга температуры.

На рис. 6 представлен интерфейс температурного контроля DTAP200. Рис. 7 иллюстрирует результаты температурного измерения посредством DTSX200 в жестких климатических условиях, при этом температура устройства изменяется пошагово в диапазоне $-45...70$ °C. График позволяет оценить точность измерений при работе датчика в различных температурах. Во время тестирования температура DTSX200 постоянно изменялась, а температура оптического волокна удерживалась на нормальном уровне. График показывает, что флуктуации значений температурного измерения не превышают

± 1 °C с учетом изменений температуры в комнате, где находилось оптоволокно.

Датчик DTSX200 способен производить высокоточные измерения в широком диапазоне температур. Рис. 8 показывает результат температурного измерения в низкотемпературной термокамере, где температура варьировалась в диапазоне $-20...80$ °C, и высокотемпературной термокамере при температуре $80...300$ °C. На оси Y показано отклонение измеренных значений температуры от эталонной температуры. Видно, что на всем диапазоне измерений отклонения не превышают $\pm 0,5$ °C. Благодаря применению нового алгоритма, позволяющего более точно определять рамановский сдвиг волнового числа, что является важным параметром для температурной калибровки, DTSX200 может производить точные измерения даже в столь широком диапазоне.

В добывающих скважинах показания от оптоволоконна могут постепенно стать менее точными (так называемое «затемнение»), что объясняется воздействием высоких температур, высокого давления и контактом с водородными газами. Все это приводит к ошибкам в измерениях температуры [5]. Датчик DTSX200 использует метод двусторонней конфигурации, позволяющий избежать эффекта затемнения.

Рис. 9 иллюстрирует пример измерений на участке с постоянной температурой. При этом система с двусторонней конфигурацией продолжает передавать точные данные, даже несмотря на отклонения в показаниях с оптоволоконна, а система с односторонней конфигурацией, напротив, передает некорректные сведения.

Применения

На рис. 10 представлен пример применения DTSX200 на месте разработки ресурса. Некоторые элементы инфраструктуры, например, электропитание и средства коммуникации, зачастую недоступны в местах разработки ресурсов. В приведенном примере питание для наружной панели обеспечивается за счет солнеч-



Рис. 10. Пример установки DTSX200 в месте разработки ресурса

ных батарей и аккумуляторных блоков, а беспроводные модемы обеспечивают связь.

Датчик DTSX200 обычно используется для измерения высоких температур при добыче ресурсов. Кроме того, он также может применяться для измерения низких температур и обнаружения утечек в резервуарах для хранения сжиженных природных газов и трубопроводах. На рис. 11 показан интерфейс системы при обнаружении утечки в трубопроводе аммиака, при этом температура измерялась каждые несколько секунд, а самая низкая температура (-40 °C) отражена на графике на момент утечки.

Заключение

Благодаря применению технологий оптического измерения датчик DTSX200 способен работать в суровых климатических условиях, при этом для его работы достаточно наличия солнечной батареи и аккумуляторного блока. Подчеркнем возможность интеграции прибора в автоматизированные системы управления производством заказчика, которая стала возможной благодаря применению защищенного протокола передачи данных и поддержке форматов данных, принятых в нефтегазовой промышленности. Приведенные в статье примеры описывали использование датчика при разработке нетрадиционных ресурсов и обнаружении утечек в резервуарах СПГ и трубопроводах. Однако DTSX200 может быть полезен для выполнения целого ряда других задач: обнаружение пожаров на ленточных конвейерах, в различных сооружениях, управление температурами на горячих участках заводов и контроль температур на линиях электропередач.

Список литературы

1. Masaru Ihara. Discussion on Unconventional Resources // JOGMEC NEWS. Vol. 26, SEP, 2011, pp. 2-7 in Japanese.
2. Dennis Dria. E&P Applications of Fiber-Optic Technologies // SPE Distinguished Lecture. 2012.

Фукузава Тору — инженер по разработкам перспективной продукции Yokogawa Electric.

Контактный телефон (495) 737-78-68.

[Http://www.yokogawa.ru](http://www.yokogawa.ru)

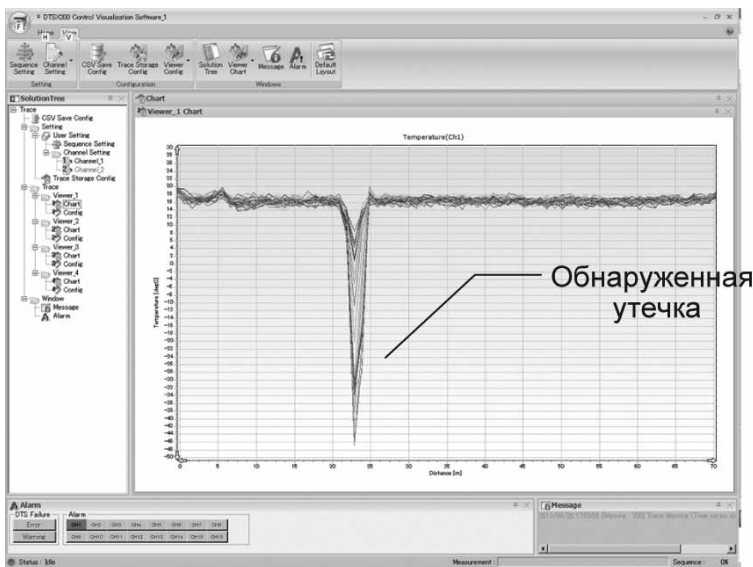


Рис. 11. Мнемосхема обнаружения утечки аммиака

3. Nobuaki Takeuchi, Toru Fukuzawa. Distributed Temperature Sensor (DTS) for use in hash environments // IEEJ paper of Technical Meeting on Optical Application and Vision. Vol. LAV-12, No. 1-8, 2012, pp. 21-25 in Japanese.
4. DTSX200 Distributed Temperature Sensor // Journal of the Society of Instrument and Control Engineers. Vol. 51, No. 3, 2012, pp. 310-311 in Japanese.
5. Shoji Adachi. The latest trend of optical fiber sensing technology // IEICE Technical report. Vol. 110. No. 58 (OFT2010 1-15), 2010, pp. 51-56 in Japanese.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЦЕССАХ ПОТОЧНОГО АНАЛИЗА КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ

Ф.Г. Сорокин (Компания Modcon Systems)

Рассмотрен принцип измерения цвета, используемый в поточных колориметрах компании Modcon Systems. Сформулированы их особенности, преимущества и области применения.

Ключевые слова: фотометрия, поточные колориметры, интенсивность цвета, ректификационная колонна.

Введение

Фотометрия — общая для всех разделов прикладной оптики научная дисциплина, на основании которой производятся количественные измерения энергетических характеристик поля излучения.

Фотометрия как наука зародилась в 1760-х годах с работ немецкого ученого И. Г. Ламберта, сформулировавшего закон диффузного отражения света (закон Ламберта), и французского ученого П. Бугера, сформулировавших закон поглощения света (закон Бугера — Ламберта — Бера). В настоящее время это закон идеального рассеяния или поглощения света, удобный для теоретических исследований, применяемый также и для при-

ближенных фотометрических и светотехнических расчетов.

В 1936 г. советский ученый А. А. Гершун сформулировал теорию светового поля. Широкое применение представлений о световом поле привело к решению многих задач, остававшихся нерешенными в рамках фотометрии XIX века. На практике положения теории светового поля реализуются инженерной дисциплиной — светотехникой.

Использование термина «свет» применительно к описанию поля излучения в любой области спектрального диапазона оптического излучения, а не только в видимой его области, в настоящее время является общепризнанным («скорость света», «луч света»).