



Освещение рабочих мест

А.М. ЛАЗАРЕНКОВ, заведующий кафедрой «Охрана труда» БНТУ, доктор технических наук, профессор,

С.А. ХОРЕВА, профессор кафедры «Экология» БНТУ

(Окончание.

Начало в № 5, 2007)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Источники света являются важнейшими составными частями осветительных установок промышленных предприятий. Правильный выбор типов и мощности ламп оказывает решающее влияние на эксплуатационные качества и экономическую эффективность осветительных установок, на соответствие искусственного освещения предъявляемым к нему требованиям.

При сравнении источников света друг с другом и при их выборе **пользуются следующими характеристиками: электрическими** (номинальное напряжение в вольтах, электрическая мощность ламп в ваттах); **светотехническими** (световой поток, излучаемый лампой Φ , в люменах); **эксплуатационными** (световая отдача лампы ψ в лм/Вт, срок службы); **конструктивными** (форма колбы лампы, форма тела накала, наличие и состав газа, заполняющего колбу лампы, давление газа).

В качестве источника света для освещения промышлен-

ных предприятий применяют газоразрядные лампы и лампы накаливания. **Лампы накаливания** относятся к источникам света теплового излучения и пока еще являются распространенными источниками света. Это объясняется следующими их **преимуществами: удобны в эксплуатации; не требуют дополнительных устройств для включения в сеть; просты в изготовлении.** Однако они имеют и **существенные недостатки: низкая световая отдача** (для ламп общего назначения она составляет 7–20 лм/Вт); **сравнительно малый срок службы** (до 2,5 тыс. ч); **в спектре преобладают желтые и красные лучи**, что сильно отличает их спектральный состав от солнечного света. Они искажают цветопередачу, поэтому их не применяют при работах, требующих различения цветов.

В осветительных установках используют лампы накаливания многих типов: **вакуумные (НВ), газонаполненные биспиральные (НБ), биспиральные с криптоксеноновым наполнением (НБК), зеркальные с диффузно-отражающим слоем, местного освещения и др.**

В последние годы получают все большее распространение лампы накаливания с йодным циклом — **галогенные лампы**. Наличие в колбе паров йода дает возможность повысить температуру накала спирали; образующиеся при этом пары вольфрама соединяются с йодом и вновь оседают на вольфрамовую спираль, препятствуя распылению вольфрамовой нити. Срок службы этих ламп — до 3 тыс. ч, световая отдача доходит до 40 лм/Вт, спектр излучения близок к естественному. **Галогенные лампы (КГ)** представляют собой трубку кварцевого стекла с нитью накала, размещенной по ее оси на поддерживающих крючках.

Газоразрядные лампы — это приборы, в которых излучение оптического диапазона спектра возникает в результате электрического разряда в атмосфере инертных газов и паров металлов, а также за счет явления люминесценции. Основным **преимуществом** газоразрядных ламп перед лампами накаливания является **большая световая отдача** — 40–110 лм/Вт (натриевые — до 110, металлогалогенные — до 100, люминесцентные — до



75, ртутные — до 60, ксеноновые — до 40 лм/Вт). Они имеют *значительно больший срок службы*, который у некоторых типов ламп достигает 8—12 тыс. ч. От газоразрядных ламп можно *получить световой поток практически в любой части спектра*.

Газоразрядные лампы имеют и ряд существенных **недостатков**. Безынерционность излучения газоразрядных ламп может привести к появлению *пульсаций светового потока*. При рассмотрении быстро движущихся или вращающихся деталей в пульсирующем потоке возникает стробоскопический эффект, который проявляется в искажении зрительного восприятия объектов различения (вместо одного предмета видны изображения нескольких, искажаются направление и скорость движения). Пульсация светового потока ухудшает условия зрительной работы, а стробоскопический эффект ведет к увеличению опасности травматизма и делает невозможным успешное выполнение ряда производственных операций. **Для стабилизации светового потока газоразрядных ламп необходимо применять двух- и трехфазное включение в сеть или последовательно включать балластное, емкостное или индуктивное сопротивление**. Напряжение при зажигании у газоразрядных ламп обычно значительно выше напряжения сети, поэтому для включения ламп приходится применять сложные пусковые приспособления.

Самыми распространенными газоразрядными лампами являются *люминесцентные*, имеющие форму цилиндрической

трубки. Внутренняя поверхность трубки покрыта тонким слоем люминофора, который служит для преобразования ультрафиолетового излучения, возникающего при электрическом разряде в парах ртути, в видимый свет.

В зависимости от распределения светового потока по спектру путем применения разных люминофоров различают несколько типов ламп: *дневного света (ЛД), дневного света с улучшенной цветопередачей (ЛДЦ), холодного белого (ЛХБ), теплого белого (ЛТБ) и белого света (ЛБ), естественного света (ЛЕ), компактные лампы (КЛЛ)*.

Лампы ДРЛ (дуговые ртутные люминесцентные) представляют собой ртутные лампы высокого давления с исправной цветностью. Лампа состоит из кварцевой колбы (пропускающей ультрафиолетовые лучи), которая заполнена парами ртути при давлении 0,2—0,4 МПа, с двумя электродами. Внешняя стеклянная колба покрыта люминофором.

Галогенные лампы ДРИ (дуговые ртутные с йодидами) по своей конструкции аналогичны лампам ДРЛ. Для заполнения колбы лампы применяют галогениды галлия, натрия, индия, лития и других редкоземельных элементов. Спектр излучения лампы имеет практически сплошной характер, приближающийся к дневному свету.

Ксеноновые лампы ДКСТ (дуговые ксеноновые трубчатые) обладают стабилизированным разрядом и не нуждаются поэтому в балластном сопротивлении. Учитывая большую единичную мощность (5—

50 кВт), чрезмерную долю ультрафиолетового излучения в спектре и высокое давление в колбе, эти лампы применяют только для освещения территорий предприятий.

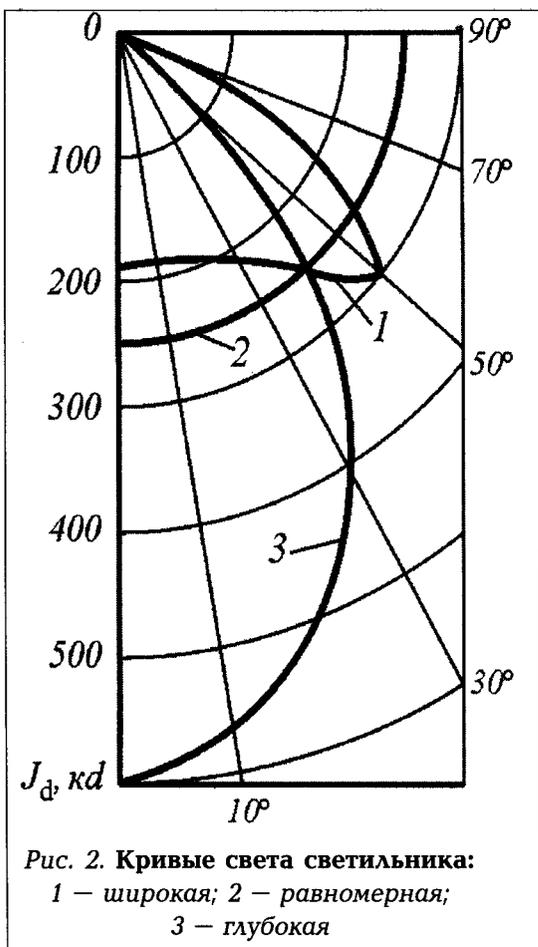
Натриевые лампы ДНаТ (дуговые натриевые трубчатые) обладают наивысшей эффективностью и удовлетворительной цветопередачей. Их применяют для освещения цехов с большой высотой (кузнечно-прессовые, заготовительные, сварочные и т.д.), где требования к цветопередаче высоки.

СВЕТИЛЬНИКИ

Создание в производственных помещениях качественно и эффективно освещения невозможно без применения рациональных светильников. Электрический светильник представляет собой совокупность источника света и осветительной арматуры.

Наиболее важной функцией осветительной арматуры является **перераспределение светового потока лампы**, что повышает эффективность осветительной установки. Для характеристики светильника с точки зрения определения световой энергии в пространстве строят график силы света в полярной системе координат (рис. 2).

Другим не менее важным назначением осветительной арматуры является **предохранение глаз работающих от воздействия чрезмерно больших яркостей источников света**. Применяющиеся источники света имеют яркость колбы, в десятки и сотни раз превышающую допустимую яр-



ком света. Отношение фактического светового потока светильника к световому потоку помещенной в него лампы называется коэффициентом полезного действия.

По распределению светового потока в пространстве различают светильники прямого, преимущественно прямого, рассеянного, преимущественно отраженного и отраженного света. Выбор тех или иных светильников зависит от характера выполняемых в помещении работ, степени загрязненности и загазованности воздушной среды, коэффициентов отражения окружающих

выпускают для помещений с тяжелыми условиями производственной среды, для взрывоопасных помещений.

При применении люминесцентных ламп для освещения производственных помещений с небольшой загрязненностью и нормальной влажностью используют открытые светильники ЛОУ, ЛСП, для помещений с большим содержанием пыли — влаговзрывозащищенные светильники ПВЛП, НОГЛ, РВАМ. В этих светильниках установлены две и более лампы, что дает возможность уменьшить пульсацию суммарного светового потока светильника и исключить стробоскопический эффект.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОСВЕЩЕНИЯ

Задачей расчета является определение необходимой мощности электрической осветительной установки для создания в производственном помещении заданной освещенности или, при известном числе и мощности ламп, определение ожидаемой освещенности на рабочей поверхности.

При проектировании осветительной установки необходимо выполнять нижеперечисленные требования:

- выбрать тип источника света. Для освещения производственных зданий должны применяться газоразрядные лампы. Если температура воздуха менее +10 °С и напряжение в сети переменного тока может падать ниже 90% номинального, следует отдать предпочтение лампам накаливания;

кость в поле зрения. Степень возможного ограничения слепящего действия источника света определяют защитным углом светильника. Защитный угол — это угол между горизонталью и линией, соединяющей нить накала (поверхность лампы) с противоположным краем отражателя. Осветительная арматура служит для подвода электрического питания, крепления и предохранения источника света от загрязнения и механического повреждения.

Важной характеристикой светильника является его коэффициент полезного действия. Осветительная арматура поглощает часть светового потока, излучаемого источни-

поверхностей, эстетических требований.

В зависимости от конструктивного исполнения различают светильники открытые, защищенные, закрытые, пыленепроницаемые, влагозащитные, взрывозащищенные, взрывобезопасные.

По назначению светильники делятся на светильники общего и местного освещения.

Для ламп накаливания наиболее распространенными являются светильники прямого света в открытом или защищенном исполнении: «Астра», АПД, УПМ-15. К светильникам преимущественно прямого и рассеянного света относятся НСП-07 и ПО-02 (шар молочного стекла). Ряд светильников



- выбрать систему освещения. Экономичнее система комбинированного освещения, но в гигиеническом отношении более совершенна система общего освещения;

- выбрать тип светильника с учетом загрязненности воздушной среды в соответствии с требованиями распределения яркостей в поле зрения и с требованиями взрыво- и пожаробезопасности;

- произвести распределение светильников и определить их количество;

- определить нормируемую освещенность на рабочем месте. Для этого необходимо определить характер выполняемой работы по наименьшему размеру объекта различения, оценить контраст объекта с фоном и фон на рабочем месте и по СНБ 2.04.05-98 в соответствии с выбранной системой освещения и источником света найти минимальную нормируемую освещенность.

Для расчета искусственного освещения пользуются в основном следующими методами.

Метод светового потока, именуемый также методом коэффициента использования, является основным для расчета общего равномерного освещения производственных помещений, когда определяется средняя освещенность горизонтальной поверхности.

Световой поток лампы F_{λ} при лампах накаливания или световой поток группы ламп светильника при люминесцентных лампах определяется по формуле:

$$F_{\lambda} = \frac{E_H \cdot S \cdot K \cdot Z}{N \cdot \eta}$$

где E_H — нормированная минимальная освещенность по разряду выполняемых работ; S — площадь освещаемого помещения, m^2 ; K — коэффициент запаса, принимаемый согласно табл. 1 СНБ 2.04.05-98; Z — коэффициент минимальной освещенности, равный отношению E_{cp}/E_{min} , принимаемый равным 1,15 для ламп накаливания и дуговых ртутных ДРЛ и 1,1 для люминесцентных ламп (при отраженном освещении $Z = 1,0$); N — число светильников в помещении; η — коэффициент использования светового потока ламп, зависящий от kn и кривой распределения силы света светильников, коэффициентов отражения светового потока от потолка ρ_{nom} , стен ρ_{cm} и рабочей поверхности ρ_p , высоты подвеса светильников и размеров помещения.

Подсчитав по формуле световой поток лампы F_{λ} , подбирают ближайшую стандартную лампу и определяют электрическую мощность всей осветительной системы. В практике допускается отклонение потока выбранной лампы от расчетного до -10 и $+20\%$, в противном случае задается другая схема расположения светильников.

Точечный метод применяют для расчета локализованного и местного освещения, освещения наклонных плоскостей и проверки расчета равномерного общего освещения, когда отраженным световым потоком можно пренебречь.

Если метод используется для расчета освещения горизонтальной поверхности, то формулы метода принимают

вид: при определении мощности (светового потока) лампы, необходимой для создания заданной освещенности:

$$F_{\lambda} = \frac{1000EK}{\mu\Sigma e}, \text{ лк}$$

при определении освещенности, создаваемой с известным потоком:

$$E = \frac{F_{\lambda}\mu\Sigma e}{1000K}, \text{ лк}$$

где E — освещенность, лк; F_{λ} — световой поток, лм; Σe — сумма условных освещенностей (для контрольной точки); μ — коэффициент дополнительной освещенности, учитывающий действие угаленных светильников и отраженного света; K — коэффициент запаса.

Значение коэффициента μ колеблется от 1,0 до 1,3. Для производственных помещений μ можно считать равным 1,1–1,15 и только при заведомо хорошо отражающих потоках и стенах μ можно повышать до 1,2–1,25.

Условная освещенность определяется при условном потоке лампы в каждом светильнике, равном 1000 лм, и может быть найдена как расчетным путем, так и на основании пространственных кривых равных значений освещенности (кривые пространственных изолюкс).

СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ЗРЕНИЯ. КОНТРОЛЬ ОСВЕЩЕНИЯ

Для защиты глаз от механических повреждений, брызг жидкостей и расплавленного

металла, ультрафиолетового и инфракрасного излучения, слепящей яркости видимого излучения **применяют защитные очки, щитки, шлемы.** Очки не должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой. Стекла для очков лучше использовать безосколочного типа триплекс или прошедшие закалку.

Для защиты от яркого света, ультрафиолетового и инфракрасного излучения применяют очки и щитки со специальными светофильтрами. Светофильтры подбирают в соответствии с характером и интенсивностью излучения по ГОСТ 12.4.080-79. Для вспомогательных работ при сварке используют светофильтры В, для газосварщиков и электро-сварщиков — соответственно светофильтры Г и Э, для работы у сталеплавильных и доменных печей — светофильтры П и Д. Кроме того, защитные очки необходимо индивидуально подбирать по межцентровому расстоянию стекол. Существует пять типоразмеров с межцентровым расстоянием 64 — 80 мм.

Тщательный и регулярный уход за установками естественного и искусственного освещения имеет важное значение для создания рациональных условий освещения, в частности, обеспечения требуемых величин освещенности без дополнительных затрат электроэнергии.

В установках с люминесцентными лампами и лампами ДРЛ **необходимо следить за исправностью схем включения** (не должно быть видимых гла-

зу миганий ламп), а также **пускорегулирующих аппаратов**, о неисправности которых можно судить, например, по значительному шуму дросселей.

Чистка стекол световых проемов производится не реже 2 раз в год для помещений с незначительным выделением пыли и не реже 4 раз в год для помещений со значительными выделениями пыли; для светильников — 4—12 раз в год в зависимости от характера запыленности производственного помещения.

Нужно своевременно заменять перегоревшие лампы. Замена ламп осуществляется **двумя способами: индивидуальным** — после выхода ламп из строя и **групповым**, когда через определенный интервал одновременно заменяют и перегоревшие, и работающие лампы (ДРЛ через 7500 ч, люминесцентные 40 Вт — через 8000 ч, люминесцентные 65—80 Вт — через 6300 ч).

Уровень освещенности в контрольных точках производственного помещения проверяют не реже 1 раза в год после очередной чистки светильников и замены перегоревших ламп. Фактическая освещенность должна быть больше или равна нормируемой освещенности, умноженной на коэффициент запаса. **При несоблюдении этого соотношения осветительная установка непригодна для дальнейшей эксплуатации**, и ее следует реконструировать или капитально отремонтировать.

Основным прибором для измерения освещенности является люксметр (Ю-116, Ю-117). При измерении освещенности от источников света с иным,

чем у ламп накаливания, спектральным составом применяют поправочные коэффициенты. Для люминесцентных ламп ЛБ поправочный коэффициент равен 1,17; ЛД — 0,99; ДРЛ — 1,09; ДНаТ — 1,23; для естественного света этот коэффициент равен 0,8. При измерениях чувствительный фотозлемент люксметра располагается в плоскости рабочей поверхности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСВЕЩЕННОСТИ РАБОЧИХ МЕСТ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ

Исследование естественного освещения участков литейных цехов показало, что коэффициент естественного освещения не соответствует нормированным значениям практически на всех участках цехов. Такое положение создается за счет того, что остекления боковых окон и светоаэрационных фонарей сильно загрязнены и не подвергаются чистке в установленные сроки. Часто часть площади оконных проемов закрыта эстакадами, технологическим оборудованием, стекла заменены стеклоблоками или армированным стеклом, имеющими невысокую светопропускную способность.

В табл. 3 приведены результаты исследований искусственного освещения рабочих мест литейных цехов. Сравнение фактической освещенности рабочих мест с нормативной показало недостаточность в системе искусственного освещения практически на всех участках литейных цехов. При



Таблица 3

Результаты исследований освещенности рабочих мест
литейных цехов

Участок цеха	Факт. освещенность люкс (лк)		Норма освещенности, (лк)
	до профилактики	после профилактики	
Шихтовый	20–30	60–90	100
Смесеприготовительный	30–80	80–120	200
Стержневой	50–115	110–150	300
Формовочный	30–55	100–140	200
Плавильно-заливочный	30–45	100–130	200
Выбивной	30–85	85–140	200
Обрубочно-очистной	60–110	130–190	200
Цветного литья	90–110	130–150	200
Литья гильз	55–90	120–200	200

изучении причин выявлено, что не все лампы работают (перегоревшие лампы длительное время не заменяются), установленные сроки чистки светильников не соблюдаются. Все это приводит к значительному снижению освещенности рабочих мест. Такое неблагоприятное положение в литейных цехах серийного и мелкосерийного производств в сравнении с цехами массового производства объясняется тем, что в первых невысок уровень механизации и автоматизации, а на каждом участке необходимо применять грузоподъемные механизмы, такие как мостовой кран. Использование же мостовых кранов приводит к размещению светильников общего освещения на большой высоте (8–15 м от пола цеха), что значительно затрудняет оперативную замену перегоревших ламп, чистку и мойку светильников. А это существенно снижает световой поток от светильника и не обеспечивает требуемой освещенности. Исследования, проведенные нами в ряде литейных цехов, показали, что плановые

чистки и мойки светильников и замена перегоревших ламп увеличивают освещенность рабочих мест до 2–3 раз (табл. 3).

Однако следует отметить, что плановые чистки и мойки светильников проводятся крайне редко (в лучшем случае два раза в год), в то время как на отдельных участках их нужно осуществлять ежемесячно.

Кроме того, нужно подчеркнуть, что даже вышеназванные профилактические мероприятия в большинстве случаев не позволяют получить на рабочих местах требуемую по нормам освещенность.

Исследуя освещенность рабочих мест литейных цехов, мы построили гистограммы распределения искусственного освещения по уровням (ступеням) до и после чистки, мойки светильников и замены перегоревших ламп. Анализ полученных результатов показал, что до проведения профилактических мероприятий освещенность соответствовала нормам только на 12,5% рабочих мест литейных цехов массового, 2,4% – серийного и в 9,8% в

цехе мелкосерийного производства. Несколько лучшее положение с освещением отмечается в литейных цехах массового и мелкосерийного производств, технологические процессы и оборудование которых позволяют размещать светильники на меньшей высоте в связи с отсутствием на большинстве участков мостовых кранов, а также использованием в светильниках дуговых ртутных высокого давления ламп большой мощности (тип ДРЛ)

После осуществления профилактических мероприятий освещенность соответствовала нормам на 45,4% рабочих мест литейных цехов массового, 15,6% – серийного и 29,5% рабочих мест цеха мелкосерийного производства. Как видно из приведенных данных, профилактика систем освещения играет большую роль и дает ощутимые результаты, причем на большинстве рабочих мест литейных цехов освещенность составляет 100 лк. Однако этого недостаточно для выполнения многих работ.

На большей части рабочих мест освещенность низка, особенно это отмечается в литейных цехах серийного производства, где профилактические мероприятия практически не дают эффекта. Такое неблагоприятное положение с освещением рабочих мест литейных цехов показало необходимость оценки существующих систем искусственного освещения, для чего были проведены расчеты по разработанным программам с использованием ЭВМ. В программах заложены светотехнические данные по 63 типам светильников с лампами нака-

ливания (ЛН), дуговыми ртутными высокого давления (ДРЛ), металлогалогенными (МГЛ), натриевыми высокого давления (НЛВД) и люминесцентными лампами (ЛЛ), используемых в настоящее время или рекомендуемых для условий конкретных литейных цехов. При подборе типов светильников было учтено также, что основные производственные отделения и участки литейных цехов располагаются в высоких одно- или двухэтажных зданиях, оборудованных мостовыми кранами или тельферами, и вследствие этого для систем общего освещения следует использовать в основном источники с большой единичной мощностью и различными кривыми силы света светильников типа: К — концентрированная, Г — глубокая и Д — косинусная (рис. 2).

Вначале были проведены расчеты требуемой мощности ламп в светильниках, используемых на различных участках обследованных нами литейных цехов. Анализ полученных данных показал, что в большинстве случаев в цехах предусмотрены типы светильников, уступающие по своим светотехническим характеристикам рекомендуемым и заведомо неспособные решить задачу создания нормальных зрительных условий труда работающих. Причем светильники не обеспечивают нормативную освещенность даже при коэффициенте запаса, равном единице, в то время как в литейных цехах необходимо принимать его значение 1,5—2,0.

Сравнение расчетных и экспериментальных (полученных при проведении исследований) данных по участкам

литейных цехов с разным характером производства свидетельствует, что разработанные программы позволяют определить наиболее оптимальные характеристики светильников для условий проектируемых или реконструируемых производств, оценить возможности систем искусственного освещения в действующих цехах и внести коррективы при их несоответствии. Однако наиболее выгодным вариантом увеличения освещенности рабочих мест является применение ламп большей мощности типа ДРЛ и МГЛ в используемых типах светильников.

В справочной литературе по светотехнике приведены параметры осветительных установок для характерных строительных решений отделений литейных производств. В частности, для различных строительных модулей при разных высотах подвеса светильников даны мощность лампы в светильнике и количество светильников на модуль. Проведенные нами расчеты по определению освещенности рабочих мест различных участков литейных цехов показали, что в ряде случаев рекомендуемые характе-

ристики осветительных установок не обеспечивают требуемой освещенности рабочих мест. Так, для шихтового двора при строительном модуле 6x18 м требуемая освещенность обеспечивается при рекомендуемом количестве и мощности ламп только при высотах подвеса установок от 14 до 18 м, а при меньшей и большей высоте она ниже нормативной до полутора раз. При модуле 6x24 м рекомендуемое количество светильников не создает требуемой освещенности на всех высотах подвеса (освещенность не более 120—130 лк при нормативной 150 лк).

Для стержневых и формовочных участков со строительными модулями 6x18, 6x24 и 6x30 м рекомендуемые параметры осветительных установок также могут создавать нормативную освещенность только при высотах подвеса более 14 м. Кроме того, замечено, что некоторые рекомендуемые светильники вообще не пригодны для условий этих участков, так как создаваемая ими мощность ниже требуемой до 2 раз. Аналогичное положение характерно и для участков выбивки, обрубки и очистки литья.

Таким образом, анализ результатов исследований освещения действующих литейных цехов со всей очевидностью показал, что действующие системы искусственного освещения, как правило, не отвечают предъявляемым к ним требованиям по созданию нормальных зрительных условий труда и не позволяют получить требуемую освещенность на большинстве рабочих мест литейных цехов. Поэтому необходимо определять оптимальные варианты осветительных установок с использованием ламп типа ДРЛ и МГЛ на стадии проектирования или реконструкции, а также для действующих литейных цехов. Следует строго выполнять рекомендуемые сроки проведения профилактических мероприятий, что позволит создать требуемые зрительные условия труда литейщиков или значительно улучшить их. ☒