

Рис. 2. Зависимость капитальных затрат на создание ГПС от числа рабочих позиций  $n$  и времени их загрузки

заводом отдельных типов ОП часто меняется в зависимости от потребности в них, наличия материалов и комплектующих изделий, что приводит к необходимости перестройки производства.

Базой для внедрения ГПС в холодноштамповочном производстве являются, например, результаты работ ПО «Электролуч» по созданию автоматического штамповочного комплекса, включающего в себя систему автоматического съема и установки штампов на прессы усилием 0,4 мН. Хранение штампов осуществляется на складе с автоматическим адресованием.

Значительная экономия капитальных затрат при создании ГПС связана с уменьшением времени загрузки оборудования заготовками. На рис. 2 представлена зависимость капитальных затрат на создание ГПС от числа рабочих позиций и времени их загрузки по данным [3]. Видно, что с уменьшением времени загрузки оборудования в значительной степени возрастают затраты на создание ГПС, однако в случае применения роботов и увеличения числа обслуживаемых рабочих позиций эти затраты сокращаются в несколько раз. Применение транспортных потоков верхнего расположения обеспечивает экономию производственных площадей, точное позиционирование заготовок у оборудования, а также предотвращает случайное повреждение деталей при их транспортировании. Упрощаются также оптимизация транспортных маршрутов и передача деталей к промежуточным складам-накопителям. Гибкость при задании транспортных маршрутов позволяет компенсировать непроизводительное время, затрачиваемое на переналадку оборудования, замену вышедшего из строя инструмента, плановое и аварийное обслуживание оборудования.

Управление производственными процессами может быть осуществлено от центральной ЭВМ, например серии ЕС1022, и со стоеч оператора с кратковременной памятью, расположенных непосредственно на производственных участках. Причем ЭВМ осуществляет также функции управления транспортными связями и выбором необходимого инструмента.

Рассмотрим в качестве примера ГПС, создаваемые в настоящее время в светотехническом производстве. Так, на ПО «Ватра» внедряется быстро переналаживаемый робото-технологический комплекс литья под давлением алюминиевых сплавов производительностью не менее 60 отливок в час. Экономический эффект от его внедрения составит свыше 90 тыс. руб. в год. Кроме того, создается комплекс оборудования с гибкой системой управления технологическим процессом нанесения гальванических покрытий (годовой экономический эффект около 50 тыс. руб.). Предполагается внедрить автоматические переналаживаемые автооператорные линии электрохимической полировки отражателей на лихославльском заводе «Светотехника», СПО «Светотехника», ПО «Электролуч» и др. Важно подчеркнуть, что в станкостроении имеет место тенденция постоянного совершенствования и, следовательно, удешевления оборудования. По статистическим данным средняя стоимость одного станка в 1983 г. по сравнению с 1960 г. возросла в 4,5 раза. Из этого следует, что значительные

затраты на создание и освоение сложного автоматического оборудования требуют его максимальной отдачи, т. е. организации работы в три смены (коэффициент сменности не менее 2,5). Представляется, что ГПС будут весьма эффективны в производстве ОП серии РСП на СПО «Светотехника», прожекторов на ПО «Электролуч», ОП с ЛЛ для освещения общественных зданий на ПО Армэлектролюкс и других предприятиях.

Оптимальное сочетание робототехники, станков с ЧПУ и транспортных систем позволяет осуществить переход на использование безлюдных технологий и ГПС. Ускорение этого процесса — один из путей повышения эффективности светотехнического производства, основная задача технического перевооружения подотрасли.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскин А. Н., Гормаков В. А., Козлов В. Н. Некоторые проблемы роботизации в светотехническом производстве. — Светотехника, 1982, № 10, с. 21—23.
2. Цветков В. Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. Минск: Наука и техника, 1979. 264 с.
3. *Flexibles Handhaben prismatischen Werkstücke auf Werkzeugmaschinen*. — Maschinenmarkt, 1984, Bd 26, S. 650—653.

\* \* \*

The future of flexible production systems in discussed and their lighting applications are exemplified.

УДК 628.94:628.512.2

## ОСВЕТИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР В УСТАНОВКЕ

Ю. Б. АЙЗЕНБЕРГ, Г. Б. БУХМАН,  
кандидаты техн. наук

Всесоюзный светотехнический институт,  
КО УГПИ Тяжпромэлектропроект

Любой ОП является неотъемлемой частью ОУ. Это положение в значительной мере определяет направления конструирования, критерии и методы оценки разрабатываемых конструкций. Основной задачей разработчика является обеспечение наибольшей эффективности ОП у потребителя (в ОУ) при наименьших затратах у изготовителя. С этой целью при конструировании необходимо уметь технико-экономически оценивать и сопоставлять потребительские и производственные затраты и характеристики изделий.

Затраты производства  $Z_{\text{пр}}$  определяются главным образом затратами труда ( $T_t$ , нормо-ч/шт.), материала ( $M$ , кг/шт.), стоимостью комплектующих изделий ( $C_k$ , руб./шт.) и накладными расходами на заработную плату ( $C_n$ , руб.), зависящими от степени механизации процессов, унификации узлов и деталей, масштабов производства и других факторов.

Затраты производства

$$Z_{\text{пр}} = f(T_t, M, C_k, C_n).$$

Затраты потребителя  $Q_p$  определяются приведенными расходами в ОУ, причем

$$Q_p = e_n K + \vartheta,$$

где  $e_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,15 \*;  $K$  — капитальные затра-

\* В технико-экономических расчетах эффективности новой техники.

ты на оборудование ОУ;  $\mathcal{E}$  — годовые эксплуатационные расходы. При этом в соответствии с [1]

$$K = N(A_n + B + M_m + 0,001apCn);$$

$$\mathcal{E} = N \left[ \frac{T(A+a)n}{\tau_L} + \right.$$

$$\left. + \frac{\alpha T p q n + 100(B + M_m) + 0,1\alpha p C_n + 1000 m_q B}{1000} \right],$$

где  $N$  — число ОП в ОУ;  $A$  — цена лампы;  $n$  — число ламп в ОП;  $B$  — цена ОП;  $M_m$  — стоимость монтажа;  $a$  — коэффициент, определяющий потери мощности в ПРА;  $p$  — мощность лампы;  $C$  — стоимость монтажа электротехнической части на 1 кВт мощности ламп и потерь в ПРА;  $\alpha$  — стоимость замены лампы;  $\tau_L$  — номинальный срок службы ламп;  $T$  — число часов использования максимума осветительной нагрузки в год;  $m_q$  — число чисток в год;  $B$  — стоимость чистки ОП.

Расчет  $K$ ,  $\mathcal{E}$  и  $Q_{\text{пп}}$  ведется для ОУ, в которых создаются одинаковые условия освещения, прежде всего генерируется одинаковый световой поток, определяемый из выражения

$$\Phi = \frac{E_h K_3 S z}{U_{\text{OY}}},$$

где  $E_h$  — нормированная освещенность;  $K_3$  — коэффициент запаса;  $S$  — освещаемая площадь;  $z = E_{\max}/E_{\min}$  — коэффициент минимальной освещенности;  $U_{\text{OY}}$  — коэффициент использования. Мощность  $P$  такой ОУ определяется из соотношения

$$P = \frac{\Phi \alpha}{H_L} = \frac{E_h K_3 S z \alpha}{H_L U_{\text{OY}}}, \quad (1)$$

где  $H_L$  — световая отдача ламп, лм/Вт.

Рассмотрим выражения  $\Phi$  и  $P$  для идеализированного граничного случая, когда поток генерируется ОУ без каких-либо потерь, т. е.  $K_3=1$ ,  $z=1$ ,  $\alpha=1$ ,  $U_{\text{OY}}=1$ . В предельном случае эта ОУ состоит из одного ОП с одной лампой, т. е.  $N=1$ ,  $n=1$ . Для такой идеальной установки — прибора

$$P_{\text{ид}} = E_h S / H_L, \quad (2)$$

а отношение мощностей реальных установок и идеальных будет характеризоваться при одном и том же типе ОП следующим выражением:

$$\frac{P}{P_{\text{ид}}} = \frac{E_h K_3 S z \alpha H_L}{H_L U_{\text{OY}} E_h S} = \frac{K_3 z \alpha}{U_{\text{OY}}}. \quad (3)$$

В случае сравнения вариантов реальных ОУ с различными ОП с разными лампами (например со световыми отдачами  $H_{L1}$  и  $H_{L2}$ ) соотношение установленных мощностей этих вариантов ОУ равно:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{K_3 z_1 \alpha_1 H_{L2}}{K_3 z_2 \alpha_2 H_{L1}} \frac{U_{\text{OY}2}}{U_{\text{OY}1}}. \quad (4)$$

Как видно из (3) значения мощности реальных ОУ или ОП и соответственно световых потоков превышают те же значения для идеальных установок или приборов в одно и то же число раз, равное  $K_3 z \alpha / U_{\text{OY}}$ . Рассмотрим детально это выражение, преобразовав его следующим образом:

$$\frac{K_3 z \alpha}{\eta_{\text{пп}}} = C_{\text{OY}} \frac{K_3 \alpha}{\eta_{\text{КСС}}} = C_{\text{OY}} K_{\text{пп}}, \quad (5)$$

где  $\eta$  — КПД ОП;  $\eta_{\text{пп}}$  — КПД помещения, зависящий от показателя помещения, коэффициентов отражения его поверхности и формы КСС ОП;  $\eta_{\text{КСС}}$  — коэффициент использования светового потока ОП с  $\eta=1$  при  $\rho_{\text{пот}}=\rho_{\text{ст}}=\rho_{\text{пп}}=0$ , обусловленный формой КСС ОП;  $C_{\text{OY}}$  — коэффициент, учитывающий влияние многократных отражений и равный в среднем 1,0 (при  $z=1,1$ ) и 1,04 (при  $z=1,15$ ) для промышленных ОУ;  $C_{\text{OY}}=0,75$  и 0,79 соответственно для ОУ общественных зданий;  $K_{\text{пп}}$  — коэффициент, который предлагается называть коэффициентом эффективности ОП,

$$K_{\text{пп}} = K_3 \alpha / (\eta \eta_{\text{КСС}}). \quad (6)$$

Выражение (6) определяет и связывает основные параметры, от которых зависят потребительские свойства ОП. С учетом относительно малых отличий значений  $C_{\text{OY}}$  от единицы, коэффициент эффективности ОП показывает, во сколько раз световой поток лампы в ОП или мощность ОП должны быть больше полезно используемых из-за реальных свойств ОП, далеких от совершенства. Забегая вперед, отметим, что степень этого несовершенства ОП приводит к необходимости завышения их мощности от 2,5 до 11 раз для различных ОП и условий эксплуатации (по сравнению с идеализированным вариантом).

Для идеальных ОУ (без потерь) выражения капитальных затрат и эксплуатационных расходов приобретают следующий вид (в расчете на 1 кВт установленной мощности):

$$0,15 K_{\text{ид}} = 0,25(0,6A + B + M_m + C), \quad (7)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ид}} = \left[ \frac{T(A+a)}{\tau_L} + T_q + m_q B \right]. \quad (8)$$

Удельные приведенные затраты в реальной ОУ на 1 кВт установленной мощности равны:

$$Q'_{\text{пп}} = K_{\text{пп}} C_{\text{OY}} (0,15 K_{\text{ид}} + \mathcal{E}_{\text{ид}}), \quad (9)$$

$$Q'_{\text{пп}} = K_{\text{пп}} C_{\text{OY}} \left\{ 0,25 (B + M_m + C + 0,6A) + \right. \\ \left. + T \left[ \frac{(A+a)}{\tau_L} + q \right] + m_q B \right\}. \quad (10)$$

В проектной практике выбор наивыгоднейших вариантов ОУ легко осуществлять, используя вместо произведения  $K_{\text{пп}} C_{\text{OY}}$  соотношение  $K_3 z \alpha / U_{\text{OY}}$ .

Удельные годовые приведенные затраты в ОУ  $Q'_{\text{пп}}$  могут быть представлены в виде

$$Q'_{\text{пп}} = K_{\text{пп}} C_{\text{OY}} \int_0^T \left( \frac{e_h K + m_q B}{T} + \frac{A+a}{\tau_L} + q \right) dt \quad (11)$$

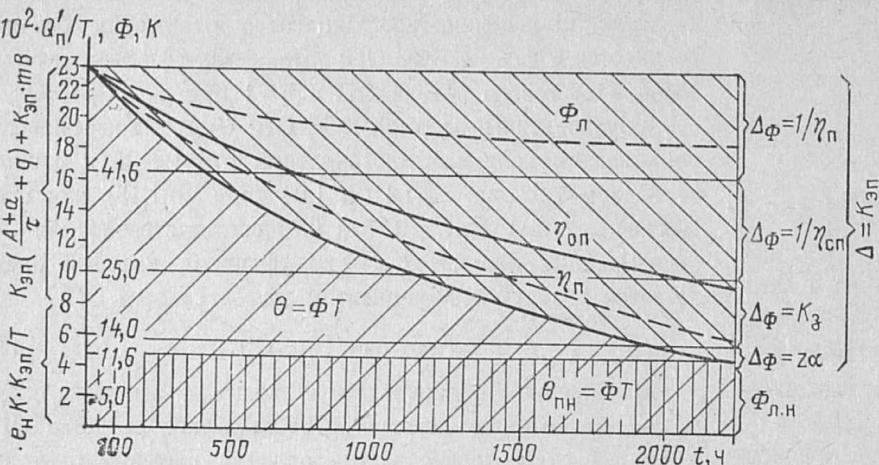
и интерпретированы графиком, приведенным на рис. 1. На графике по оси ординат отложены как приведенные годовые затраты, отнесенные к числу часов работы ОУ в год  $T$  ( $Q'_{\text{пп}}/T$ ), так и генерируемый в установке световой поток ламп  $\Phi_L$  (в другом масштабе); по оси абсцисс — время  $t$ , суммарно равное числу часов работы ОУ в год  $T$ . Этот прием позволяет совместить затраты на оборудование и эксплуатацию ОУ с затратами на вырабатываемую световую энергию (лм·ч).

Для реальной ОУ можно записать:

$$\Phi_L = E_h S K_{\text{пп}} C_{\text{OY}}, \quad (12)$$

$$Q'_{\text{пп}} = \frac{\Phi_L}{H_L} K_{\text{пп}} C_{\text{OY}} \int_0^T \left( \frac{e_h K + m_q B}{T} + \frac{A+a}{\tau_L} + q \right) dt. \quad (13)$$

Рис. 1. Затраты на ОУ  $Q_{\text{пп}}$  и генерируемый ими световой поток  $\Phi$



В то же время затраты на выработку световой энергии  $Z_{\text{в}}$  в ОУ можно представить в следующем виде:

$$Z_{\text{в}} = \frac{\Phi_{\text{л}}}{H_{\text{л}}} qT. \quad (14)$$

При этом световая энергия  $\theta$ , выработанная лампами за время  $T$ , выражается как

$$\theta = \Phi_{\text{л}} T = Z_{\text{в}} H_{\text{л}} / q,$$

где  $H_{\text{л}}$  — световая отдача, лм/кВт.

Важно отметить, что потребитель несет постоянные расходы  $Q_{\text{пп}}$ , определяемые размером  $K$ ,  $P$ ,  $q$  и характеристиками ламп и ОП, а в ОУ лампами генерируется и потребителем полезно используется непрерывно уменьшающаяся по значению световая энергия, которая тем самым со временем эксплуатации становится все дороже

$$\theta = f(t), \quad Q_{\text{пп}} = \text{const}.$$

В конечном итоге именно  $\theta_{\text{пп}}$  является мерилом производительности любой ОУ или ОП, а затраты на ее получение ( $Q_{\text{пп}}/\theta_{\text{пп}}$ ) должны быть определяющим технико-экономическим показателем любых ОУ и ОП. Использование световой энергии зависит не только от КПД и КСС ОП, но и от структуры ОУ и ее эксплуатационных режимов, на что до сих пор обращалось недостаточно внимания.

Выражение (13) может рассматриваться в качестве математической модели ОУ и ОП в детерминированном виде. Вместе с тем эта модель не характеризует условий генерирования полезной световой энергии в ОУ, в которой происходят стохастические процессы, приводящие к изменению вырабатываемой энергии  $\theta$  на протяжении всего периода ее эксплуатации, в частности из-за того, что ОП работают в динамическом режиме с непрерывным ухудшением характеристик. Этот процесс может быть представлен в виде следующей математической модели:

$$\theta(t) = \Phi(t) T = \Phi_{\text{пп}} K_{\text{эп}} C_{\text{ОУ}} [K_{\Phi_{\text{л}}}(t) K_{\eta}(t) K_{\eta_{\text{КСС}}}(t)] T, \quad (15)$$

где  $\Phi_{\text{пп}}$  — полезный световой поток, обеспечивающий нормируемые значения минимальной освещенности ( $\Phi_{\text{пп}} = \Phi_{\text{пп},\text{min}}$ ) или эффективный поток;  $K_{\Phi_{\text{л}}}(t)$  — коэффициент, определяющий снижение во времени светового потока ламп;  $K_{\eta}(t)$  — коэффициент, показывающий снижение во времени КПД ОП;  $K_{\eta_{\text{КСС}}}(t)$  — коэффициент, определяющий изменение во времени коэффициента использования ОУ.

В соответствии с результатами исследований [2—5], в ходе которых был установлен экспоненциальный закон

спада светового потока ламп и изменения КПД ОП в результате загрязнения и определены значения параметров  $\gamma$ ,  $\beta$  и  $t$  экспонент для типовых условий среды и конструкций ОП, (15) можно записать в другой форме

$$\theta(t) = \Phi_{\text{пп}} K_{\text{эп}} C_{\text{ОУ}} [(\gamma_{\Phi} + \beta_{\Phi} e^{-t/t_{\Phi}})(\gamma_{\eta} + \beta_{\eta} e^{-t/t_{\eta}}) K_{\eta_{\text{КСС}}}(t)] \quad (16)$$

$[K_{\eta_{\text{КСС}}}(t)]$  не раскрыто, так как в литературе отсутствуют данные о закономерности его изменения для зеркальных ОП, для диффузных ОП деформация КСС и изменение  $\eta_{\text{КСС}}$  не происходят].

Рисунок 1 наглядно иллюстрирует составляющие затрат и производительности ОУ или ОП в процессе эксплуатации. Из него в частности видно, что нижний прямоугольник представляет собой эффективные затраты на выработку того минимально необходимого количества  $\theta_{\text{пп}}$ , которое требуется для обеспечения нормируемых показателей ОУ:

$$\theta_{\text{пп}} = \Phi_{\text{пп}} T \approx \Phi_{\text{л}} T / K_{\text{эп}}. \quad (17)$$

При этом вся световая энергия  $\theta$ , выработанная за период  $T$ , существенно превышает минимально необходимую  $\theta_{\text{пп}}$  для обеспечения  $E_{\text{пп}}$ , и полезную  $\theta_{\text{пп}}$ , попадающую на рабочие поверхности

$$\theta_{\text{пп}} = \Phi_{\text{л}} \eta_{\text{КСС}} T.$$

Из математических моделей ОУ и ОП и рис. 1 вытекает также следующий важный вывод. Завышенный расход электроэнергии (в  $K_{\text{эп}}$  раз) потребитель может резко снизить, если в ОП (или ОУ) обеспечить возможность включения части ламп по мере ухудшения характеристик используемых в ОП ламп. Это в частности означает, что лампы, установленные для обеспечения расчетного коэффициента запаса, должны включаться постепенно, по мере износа работающих ламп и ОП (централизованное динамическое управление освещением с резервированием ламп). При этом одновременно могут быть значительно уменьшены расходы на эксплуатацию ( $t_{\text{ч}} B$ ). Сказанное иллюстрируется рис. 2, на котором по оси ординат совмещены значения освещенностей (или световых потоков) и установленной мощности ОУ или ОП. Если первоначальные значения  $P$  и  $E$  значительно уменьшить (т. е. включить только часть из установленных в ОП ламп или ОП в ОУ), а через интервалы времени  $T/n_p$  после снижения освещенности до  $0,75 E_{\text{пп}}$  (в соответствии с [6]) включать поочередно резервные лампы в ОП (или ОП в ОУ), то при обеспечении

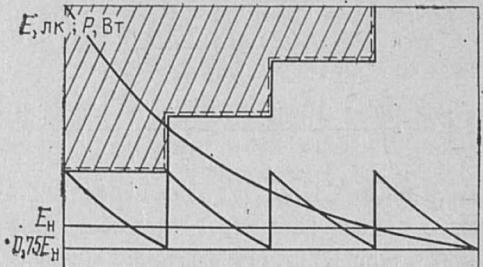


Рис. 2. Возможность экономии электроэнергии в ОУ благодаря резервированию ламп

нормируемых показателей можно получить экономию электроэнергии, пропорциональную верхней заштрихованной зоне на рис. 2.

Для повышения эффективности ОП важно как повышение номинальных параметров (прежде всего  $\eta$  и  $\eta_{\text{KCC}}$ ), так и улучшение эксплуатационных характеристик, позволяющее снизить  $K_a$  и повысить средний срок службы  $\tau$ , определяющий вместе со средними эксплуатационными КПД и коэффициентом использование значение генерируемой ОП  $\theta_p$ . Наряду с этим конструкции ОП должны обеспечить минимальное невосстанавливаемое снижение КПД  $\Delta\eta_{\text{НВ}}$  в результате воздействия условий среды и циклической чистки, а также свести к минимуму восстанавливаемый спад КПД из-за загрязнения в период между чистками.

Выполненный анализ моделей ОУ и ОП показывает также, что задача снижения затрат на освещение весьма тесно связана со снижением стоимости ОП, затрат на монтаж, эксплуатацию ( $B$ ) и электрическую часть ОУ. При этом общее снижение части капитальных затрат ( $B + M_m + C$ ), относящейся к ОП, может происходить при одновременном перераспределении расходов на ОП, монтаж и сети, например таком, при котором ОП, имеющие более высокие монтажные характеристики, позволяют также уменьшить стоимость сетей, однако сами становятся дороже при обеспечении общего снижения ( $B + M_m + C$ ), что выгодно как потребителю, так и изготовителю. Таким образом, значение  $Z_{\text{пр}} = f(T_t, M, C_k, C)$  необходимо анализировать в совокупности с  $M_m$  и  $C$ ,  $t_c$  и  $B$  так, чтобы параметры  $e_n K$  и  $t_c B$ , как составляющие расчетных затрат для ОУ, учитывались при определении цены ОП.

Анализ (9), (13) и (16) показывает определяющую роль  $K_{\text{эп}}$  в эффективности ОУ и ОП. Рассмотрение же  $K_{\text{эп}}$  приводит, с одной стороны, к выводу о взаимосвязанности основных факторов, определяющих значения входящих в него параметров, а, с другой, показывает, сколь сложна задача системного конструирования ОП, направленная на снижение  $K_{\text{эп}}$ . Уменьшение  $K_{\text{эп}}$  адекватно повышению доли полезно используемой световой энергии, определяемой  $\eta$ ,  $\eta_{\text{KCC}}$ ,  $\Phi_L$ ,  $K_a$  и  $\tau$  ОП в заданных условиях работы и обслуживания. Многопараметрическая взаимосвязь конструкций ОП, условий эксплуатации и основных характеристик ОП показана на рис. 3. Из анализа (6) и (16) и рис. 3 вытекают основные задачи системного конструирования ОП и возможности обоснованной оценки существующих и разрабатываемых конструкций.

Учитывая решающую роль  $\theta_p$  в формировании как  $K$ , так и  $\mathcal{E}$  (и прежде всего определяющей их части — затрат на электроэнергию), основные слагаемые потребительских свойств ОП ( $\Phi$ ,  $K_{\text{СС}}$ , КПД,  $\tau$ , стабильность этих параметров) должны определяться нормативно-технической документацией на эти ОП и служить основой для оценки свойств ОП. Вместе с тем в документации на ОП фиксируются лишь значения КПД и  $\tau$ . Такая основополагающая характеристика ОП, как  $K_{\text{СС}}$ , не приводится ни в одних технических условиях на ОП из-за отсутствия детальной классификации КСС и системы допусков на значения силы света, обеспечивающих возможность их контроля [7]. Нормируемые значения  $\tau$  приводятся условно, так как до появления работ [8 и 9] отсутствовала методология их инженерных расчетов и испытаний. Все это приводило к гипертрофированной оценке значимости номинальных КПД ОП, хотя при этом существенная часть  $\Phi$  может теряться в ОУ

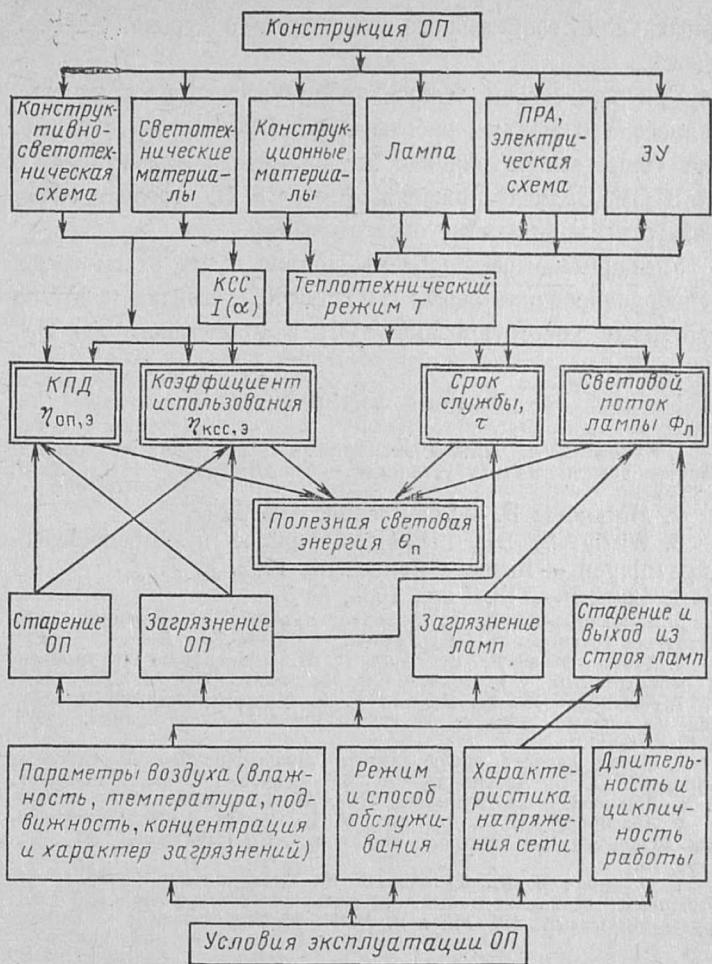


Рис. 3. Взаимосвязь конструкции ОП, условий эксплуатации и основных характеристик ОП

из-за нерационального светораспределения и плохих эксплуатационных характеристик ОП.

В оценке технологических показателей ОП не фигурируют их потребительские свойства, определяющие производительность этих ОП. Действующая система базовых технологических показателей ОП основывается на нахождении удельных затрат труда, материала и себестоимости на 1 Вт мощности ОП. Но при этом остаются по существу неоцененными оправданность, целесообразность производственных затрат труда и материала, так как основные потребительские свойства ОП при оценке изделий не учитываются. Такие предложения были недавно сформулированы [10].

При конструировании ОП выполняются обязательные технико-экономические расчеты по методикам ГКНТ СССР и Минэлектротехпрома, в процессе которых новые изделия сравниваются со старыми. Но при таком подходе остается без ответа важнейший исходный вопрос — а было ли эффективно базовое изделие? Существующие методы расчетов не позволяют оценить степень эффективности любого ОП при работе в заданных условиях ОУ и при наличии известных потребительских свойств ОП без сравнения с аналогом. Цена же ОП, как и оценка производственных затрат на них, не ставится в прямую зависимость от комплекса до сих пор не нормируемых и не рассчитываемых потребительских характеристик ОП. Важно отметить также целесообразность и даже назревшую необходимость рассмотрения ОП не как детерминированных, а как статистических систем с вероятностными характеристиками [10]. В этой связи представляет интерес оценка средних значений и имеющейся дисперсии различных параметров ОП, харак-

терных для современного технического уровня производства.

При проведении технико-экономических расчетов выяснилось, что режимы работы ОП в ОУ и тариф  $q$  оказывают существенное влияние на показатели эффективности ОП и ОУ. Задача снижения  $K$  и  $\mathcal{E}$  в ОУ требует повышенного внимания этому обстоятельству.

Указанные выше проблемы должны быть рассмотрены и скоординированно решены в процессе развития работ по системному конструированию ОП и проектированию ОУ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клюев С. А. Технико-экономические расчеты при проектировании осветительных установок. — Светотехника, 1981, № 7, с. 23—27.
2. Matanovic D.—Lichttechnik, 1959, № 7.
3. Wittig E. Die Lichtstromabnahme in Innenbeleuchtungsanlagen. — Siemens Zeitschrift, 1962, № 7.
4. Clark F.—Ill. Eng., 1963, № 3.
5. Варсанофеева Г. Д. Эксплуатационные исследования осветительных установок. — Светотехника, 1977, № 7, с. 6—9.
6. Варсанофеева Г. Д., Кроль Ц. И. К вопросу понятия отказа осветительной установки. — Светотехника, 1978, № 2, с. 1—5.
7. Айзенберг Ю. Б., Бухман Г. Б. О классификации и допусках на кривые силы света светильников. — Светотехника, 1978, № 6, с. 6—11.
8. Метод расчета срока службы оптических систем световых приборов/ Ю. Б. Айзенберг, А. В. Гунчев, Т. Н. Мануйлова, Н. В. Рожкова. — Светотехника, 1984, № 11, с. 3—6.
9. Айзенберг Ю. Б., Рожкова Н. В., Уткин В. Н. Метод расчета срока службы световых приборов. — Светотехника, 1985, № 2, с. 10—13.
10. Трембач В. В., Каракев В. М. Исследование разброса светотехнических характеристик зеркальных светильников. В кн.: Труды МЭИ, вып. 210. М.: изд. МЭИ, 1974, с. 136—141.

\* \* \*

Consumer and production features of lighting equipment together with its cost are studied. Mathematical models for lighting installations and luminaires are given. An expression for the efficiency of the luminaires in the installations was derived. Components of the associated expenditures are considered and ways for their reduction by use of a system approach to the design of the luminaires and installation proposed.

УДК 628.922

#### УПРОЩЕННАЯ ФОРМУЛА КОЭФФИЦИЕНТА СВЯЗИ

Н. Н. КИРЕЕВ, доктор техн. наук  
НИИ строительной физики

Совершенствование методов расчета бокового естественного освещения прежде всего связано с повышением точности определения отраженной составляющей КС. Наиболее корректное решение может быть получено на основе разработки математических моделей отраженной составляющей естественного освещения, основанных на разбиении поверхностей помещения на прямоугольные участки [1]. Одной из основных трудностей при реализации таких моделей на ЭВМ является определение коэффициентов связи (КС) (угловых коэффициентов) между участками поверхностей. Наиболее полное математическое описание КС для граней параллелепипеда приведено в работах [2—4].

В соответствии с [2—4] в общем случае КС между двумя равнокрым участниками поверхностей конечных размеров

$$u_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{\pi S_1} \iint_{S_1 S_2} l^{-2} \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 dS_1 dS_2, \quad (1)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  — площади излучающего и освещаемого участков поверхностей;  $l$  — расстояние между центрами элементарных площадок излучающей и освещаемой поверхностей;  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  — углы, образованные линией, соединяющей центры элементарных площадок, и нормалями к поверхностям в этих центрах (рис. 1).

Учитывая, что при боковых световых проемах (окнах) освещенность поверхностей имеет значительную неравномерность по глубине помещения, деление поверхностей на участки производится плоскостями, параллельными наружной стене со световыми проемами. Для обеспечения требуемой точности определения отраженной составляющей КС количество участков, на которые разбивается каждая из поверхностей помещения, выбирается таким, чтобы неравномерность освещенности (отношение максимума к минимуму) в пределах участка не превышала 1,2.

При разбиении поверхностей помещения на прямоугольные участки одинаковой ширины имеют место два возможных их расположения: а) простейшие случаи — освещаемый участок поверхности (например пола) совпадает с ортогональной проекцией излучающего участка поверхности (потолка) или излучающий и освещаемый участки поверхности имеют одну общую грань (рис. 2, а и б); б) сложный случай — освещаемый и излучающий участки смешены друг относительно друга (рис. 2, в и г).

Для простейших случаев интеграл в (1) имеет решение, которое приведено в [2—4]. Для смешенных прямоугольных участков, не имеющих общей грани и не ортогональных друг другу, интегрирование (1) становится слишком громоздким [2—4] и делает решение задачи трудно реализуемым при большом количестве участков. Исходя из соотношения взаимности  $S_1 u_{1 \rightarrow 2} = S_2 u_{2 \rightarrow 1}$ , определение КС между смешенными участками в соответствии [2, 3, 4] может быть сведено к простейшим случаям на основе решения линейных уравнений вида

$$S_{(1, 2, 3, \dots, n)} u_{(1, 2, 3, \dots, n) \rightarrow (1, 2, 3, \dots, n)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_i u_{i \rightarrow j}, \quad (2)$$

где  $S_{(1, 2, 3, \dots, n)}$  — суммарная площадь совокупности излучающих участков;  $u_{(1, 2, 3, \dots, n) \rightarrow (1, 2, 3, \dots, n)}$  — коэффициент связи между совокупностью  $(1, 2, 3, \dots, n)$  излучающих участков и совокупностью  $(1, 2, 3, \dots, n)$  освещаемых участков;  $n$  — количество участков, на которое разделены излучающие и освещаемые поверхности;  $S_i$  — площадь  $i$ -го излучающего участка;  $u_{i \rightarrow j}$  — коэффициент связи между  $i$ -м излучающим и  $j$ -м освещаемым участками.

Если учсть, что количество членов в (2) возрастает пропорционально  $n^2$ , а каждый член определяется по уравнениям вида (1), то определение КС при  $n > 5$  указанным способом становится чрезмерно громоздким.

В данной статье на основе анализа структуры полиномов (2) сделана попытка отыскания упрощенной формулы КС между смешенными участками поверхностей (рис. 2, в и г), которая была бы справедлива для любого  $n$  и исключала бы необходимость решения уравнений вида (2).