



# ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОСТЕКЛЕНИЯ ЗДАНИЯ НА РАСХОД ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ

С. ПАУЛАУСКАЙТЕ, В. САСНАУСКАЙТЕ, К. ВАЛАНЧЮС

В ведущих странах мира экономия энергии является основной стратегической целью политики и устойчивого развития. Потребление первичной энергии в Европе в последние годы увеличивается на 12 % ежегодно. Здания по использованию первичной энергии являются одними из основных потребителей. Одним из мероприятий, направленных на снижение затрат на энергоснабжение здания для обогрева, охлаждения и освещения, является рациональное использование стеклянных фасадов зданий.

<sup>1</sup> Статья впервые опубликована в журнале "Энергосбережение" № 1, 2010.

**В** целях повышения эффективности использования энергии сектор зданий имеет особенно большое значение, поскольку он обладает большим потенциалом энергосбережения, плохо используемым в зданиях, особенно административных. Эффективность применения энергии в строениях регламентируют различные положения и нормативные требования. Однако как в ЕС, так и в Литве регулирование больше связано с энергосбережением в холодный период года. Энергетическая сертификация зданий на сегодняшний день также была связана только с энергетическими затратами на отопление [1].

В стороне остается то обстоятельство, что при увеличении требований к тепловому комфорту во многих административных зданиях основным потребителем энергии становится не система отопления, а система охлаждения. Несмотря на то, что эта проблема решается многими исследователями, по-прежнему не установлено, сколько энергии может быть использовано в административном здании для охлаждения, чтобы рассматривать его как энергоэффективное.

Существует целый ряд мер, направленных на снижение затрат на энергоснабжение здания для обогрева, охлаждения и освещения, одной из которых является рациональное использование стеклянных фасадов зданий.

Прозрачные ограждающие конструкции здания являются одним из важнейших конструктивных элементов. Они обеспечивают естественное освещение помещения, которое летом может быть подвержено перегреву, а это означает, что тепловой комфорт в здании не будет обеспечен.

Принимая архитектурные решения, важно предусмотреть такую площадь остекления фасада, кото-

рая удовлетворяла бы требованиям естественного освещения, однако обеспечивала бы минимальный расход энергии на охлаждение. Имеются результаты исследования зависимости между площадью остекления и энергопотреблением для стран Восточной Европы [2, 3]. Однако таких данных для климата Северной Европы практически нет.

### Характеристика исследуемого объекта

В качестве объекта исследования выбрано планируемое к строительству в г. Вильнюсе здание, на первом этаже которого предусмотрены коммерческие помещения, а на других – административные. Основной фасад здания ориентирован на запад. Дом 9-этажный, высота помещений составляет 3,3 м, общая площадь здания – 40 718 м<sup>2</sup>.

Принято несколько вариантов разных конструкций стен здания: полностью стеклянный фасад и несколько вариантов частичного остекления.

Во всех вариантах применяются два вида стеклопакетов, предложенных заказчиком:

- стеклопакеты THERMO SKP (сохраняющие тепло), коэффициент теплопередачи которых 1,3 Вт/(м<sup>2</sup>•К), светопропускаемость 79 %, отражение света 12 % и общая проводимость солнечной энергии 61 %;
- стеклопакеты SUN SELECT (отражающее солнечное излучение стекло), коэффициент теплопередачи которых 1,1 Вт/(м<sup>2</sup>•К), светопропускаемость 74 %, отражение света 13 % и общая проводимость солнечной энергии 43 %.

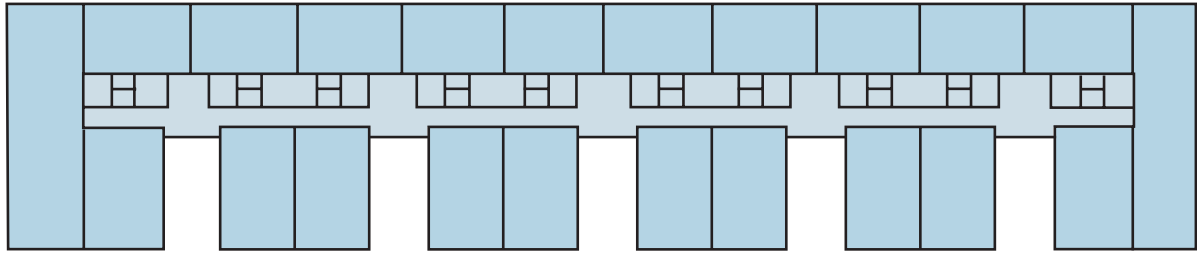
### Расчет минимальной площади остекления

Согласно действующим в Литве нормативным документам [4], определены минимальные требования к естественному освещению, и приведена методика, на основе которой устанавливается минимальная площадь остекленной части окна для отдельных помещений [5].

Минимальная площадь остекления, удовлетворяющая нормативные требования к естественному освещению, в каждом конкретном случае зависит от различных параметров (типа стекла, размеров помещения, установки окна, устройств



РИС. 1. ПЛАН МОДЕЛИ ТИПОВОГО ЭТАЖА ЗДАНИЯ



затемнения и т. п.), поэтому численные значения для каждого конкретного случая получаются разными.

Согласно [4], определен нормативный коэффициент естественного освещения для рабочего места:

$$N_n = N_v \cdot k, \quad (1)$$

где  $N_v$  – коэффициент естественного освещения (КЕО), значение которого принято согласно [4]. Поскольку в кабинетах выполняется работа, соответствующая группе видения В, то КЕО принимается равным 1 %, когда естественное освещение рабочего места боковое;

$k$  – поправочный коэффициент, зависящий от ориентации окна. Главный фасад исследуемого здания ориентирован на запад, а другой – на восток. Значение поправочного коэффициента для обоих случаев равно 1,1 [4].

Зная только коэффициент естественного освещения, довольно сложно оценить, каким должно быть минимальное остекление для помещения, поэтому необходимо произвести расчет площади остекления для каждого конкретного случая. Это делается по методике, приведенной в [5].

При боковом освещении помещения площадь остекленной поверхности не должна быть меньше, рассчитанной по формуле [5]:

$$A_{sv} = 0,01 A_{gr} \frac{N_v k K_t \eta_0'}{r_1 \tau_0} \quad (2)$$

где  $A_{sv}$  – площадь остекленной поверхности окна, м<sup>2</sup>;

$A_{gr}$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup> (в данном случае составляет 95, 180 и 75 м<sup>2</sup>, а поскольку угловой кабинет (180 м<sup>2</sup>) остеклен в двух разных стенах, при расчете он условно разделен на два помещения, чтобы избежать ошибок);

$N_v$  – нормативное значение коэффициента естественного освещения (КЕО), %, определяемое в зависимости от назначения здания и помещений по гигиеническим нормам. Это значение, как упоминалось раньше, в исследуемом случае принимается равным 1,1 %;

$k$  – поправочный коэффициент, такой же, как в формуле (1);

$K_t$  – коэффициент, оценивающий затемнение окон в зависимости от рядом находящихся зданий (в рассматриваемом случае многоэтажных зданий рядом нет, поэтому он равен 1);

$\eta_0'$  – характеристика светопропускания окна (рассчитывается в зависимости от длины и ширины помещения);

$r_1$  – коэффициент, учитывающий увеличение  $N_v$  из-за бокового от-

ражения освещения от поверхностей (зависит от соотношения длины и ширины помещения и от высоты остекленной части окна);

$\tau_0$  – общий коэффициент пропускания света,  $\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4$ ;

$\tau_1$  – коэффициент пропускания света остекления, значение которого зависит от толщины стекла и расстояния между стеклами (для THERMO SKP его значение равно 0,79, для SUN SELECT – 0,74);

$\tau_2$  – коэффициент, учитывающий потери света из-за оконных решеток, равен 0,8;

$\tau_3$  – коэффициент, учитывающий потери света в зависимости от конструкции потолка, при боковом освещении равен 1;

$\tau_4$  – коэффициент, учитывающий потери света в зависимости от мер защиты от солнца, принят равным 0,8.

Площадь остекления для коридора отдельно не рассчитывается, а, исходя из эстетических соображений о том, что окна в фасадах должны быть одинаковыми, принимается равной площади остекления кабинетов. Кабинеты имеют разную величину, поэтому для каждого варианта площадь оптимального остекления  $A_{sv}$  рассчитывается в зависимости от глубины помещения. Однако по уже упоминавшейся причине принимается,

что площадь окон для всех помещений одинакова. Для обоих вариантов окон площади принимаются по максимальному остеклению: HERMO SKP – 52 %, SUN SELECT – 56 %.

Минимальная площадь остекления устанавливается тогда, когда в течение рабочего дня имеется лишь естественное освещение и не используется дополнительное искусственное. Как обосновано в научных работах, необходимо максимально использовать возможности естественного освещения, т. к. энергетически это более эффективно, чем искусственное освещение.

### Определение годовой потребности энергии для отопления и охлаждения

#### Расчетная модель

На основе плана объекта была составлена модель типового этажа здания (рис. 1). Для проведения анализа применялись компьютерные программы динамического энергетического моделирования EnergyPlus и DesignBuilder, которые позволяют подробно описать анализируемое здание и провести точное, детальное, комплексное моделирование с выбранным шагом времени.

При разработке компьютерной модели были выбраны три вида зон: кабинет, коридор и туалет, каждый из которых имеет свой характерный режим функционирования и параметры.

#### Конструкции здания

Рассчитан коэффициент теплопередачи конструкции наружных стен по данным, предоставленным строителями. Он составляет 0,16 Вт/(м<sup>2</sup>•К). Принято, что через пол и потолок типового этажа теплообмен не происходит, поскольку этажи идентичны и нет разницы температуры. Инfiltrация наружного воздуха составляет 0,1 1/ч.

#### Внутренние характеристики помещений

Принято, что плотность людей в здании составляет 0,08 чел./м<sup>2</sup>. Задан характерный график пребывания людей в административных зданиях. Зимой во время пребывания людей в помещении поддерживается температура, равная 20 °С, при их отсутствии система отопления поддерживает температуру в 12 °С. Летом система охлаждения поддерживает температуру в 24 °С, а во время отсутствия людей система выключается.

Количество свежего приточного воздуха для каждого человека составляет 10 л/с. Теплоприток от оргтехники принят равным 6 Вт/м<sup>2</sup>.

#### Окна

Характеристики остекления, как уже упоминалось, приняты по данным, представленным строителями. Минимальная требуемая площадь остекления рассчитана по нормам. Таким образом, для двух разных видов оконных стекол принято шесть вариантов площади остекления: 20, 40, 60, 80, 100 % (соотношение остекленной части стены ко всей площади стены) и минимальная по нормативным требованиям площадь остекления.

#### Освещение

Принято, что система освещения включена в течение всего периода пребывания людей в помещении. В здании поддерживается уровень освещения в 500 люкс. Используются флуоресцентные трифосфатные лампы Т8 (25 мм). Инсталлированная электрическая мощность системы освещения составляет 17 Вт/м<sup>2</sup>. Светильники установлены в подвесном потолке. В систему освещения внедрен контроль уровня освещения.

#### Параметры микроклимата систем

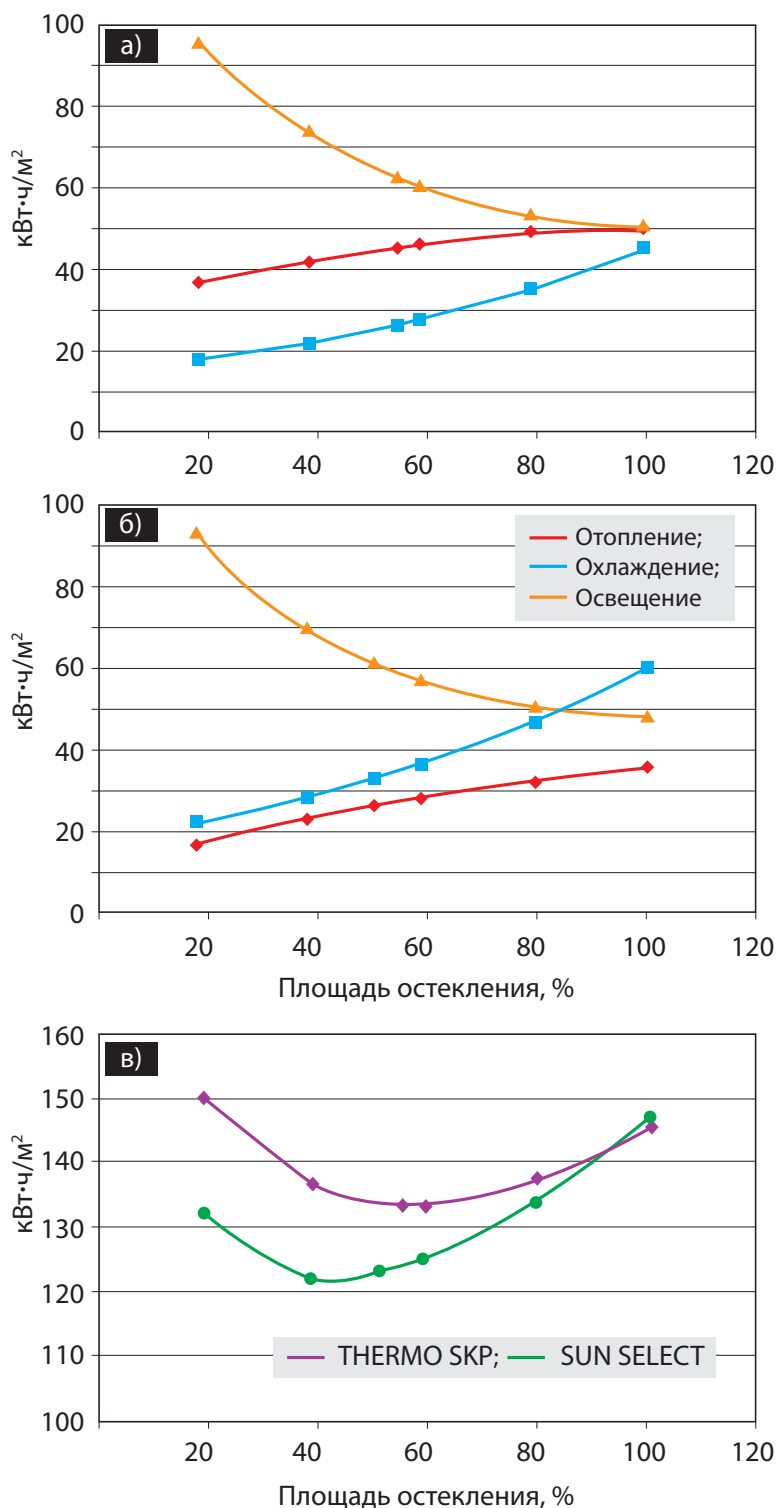
В здании внедрена водяная радиаторная система отопления.

Источник теплоты – газовый котел, эффективность которого 85 %.

Установлена механическая система вентиляции, которая обеспечивает подачу необходимого количества наружного воздуха для каждого человека.



**РИС. 2. ЗАВИСИМОСТЬ ЕЖЕГОДНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОБОГРЕВА, ОХЛАЖДЕНИЯ И ОСВЕЩЕНИЯ ОТ РАЗНОЙ ПЛОЩАДИ ОСТЕКЛЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТЕКЛОПАКЕТОВ ТИПА А) SUN SELECT, Б) THERMO SKP, В) ДВУХ ТИПОВ СТЕКЛОПАКЕТОВ**



Холодильный коэффициент системы охлаждения равен 2,5. Устройство охлаждения для производства холода использует электрическую энергию. Все системы функционируют по заданному графику работы.

#### Климатические данные

В расчетах по программе EnergyPlus приняты климатические параметры г. Каунаса. Для определения параметров использована база данных международной метеорологической сети IWEC.

#### Результаты

После выбора стеклопакетов SUN SELECT или THERMO SKP и различной площади остекления проводится расчет годового энергопотребления для систем отопления, охлаждения и освещения. Полученные варианты сравниваются для того, чтобы определить наиболее эффективное в отношении энергопотребления решение.

Поскольку система отопления использует газ, а системы охлаждения и освещения – электроэнергию, их можно сравнить лишь преобразовав энергию в первичную. При преобразовании электрической энергии в первичную принимается коэффициент, равный 3. Кроме того, оценивается эффективность систем и годовое потребление первичной энергии для обогрева, охлаждения и освещения (рис. 2).

Потребление энергии нормализуется по общей площади этажа, с учетом помещений, в которых кондиционирование воздуха не предусмотрено.

Как видно из результатов расчета, представленных на рис. 2а и 2б, для разных вариантов площади остекления потребление энергии на отопление и охлаждение при увеличении остекленной площади увеличивается, а энергетические

затраты на освещение уменьшаются. Поскольку большей пропускной способностью солнечной энергии обладает стеклопакет THERMO SKP, то энергетические затраты на охлаждение соответственно больше, чем при применении стеклопакета SUN SELECT, а энергопотребление на отопление меньше, потому что назначение этого стеклопакета – сохранять тепло. Светопропускная способность обоих стеклопакетов примерно одинакова, поэтому и потребление энергии для освещения практически идентично.

Анализируя полученные зависимости (рис. 2в), видим, что совокупность энергопотребления на отопление, освещение и охлаждение при применении стеклопакета SUN SELECT является минимальной, когда остекление составляет 56–60 %, как и регламентируется нормативными документами. В случае применения стеклопакета THERMO SKP оптимальная площадь остекления составляет около 45 %, т. е. немного меньше нормативного минимума (52 %).

Потребление энергии при применении стеклопакета THERMO SKP меньше, чем при стеклопакете SUN SELECT, однако с увеличением площади остекления разница уменьшается, а при 100 %-ом остеклении уравнивается. Это можно объяснить тем, что пропускная способность солнечной радиации стеклопакета THERMO SKP значительно выше (61 %), чем SUN SELECT (43 %), поэтому при увеличении остекления THERMO SKP быстрее растут затраты энергии на охлаждение.

Таким образом, при сравнении двух видов стеклопакетов получено, что в случае, когда остекление составляет 20 %, при применении SUN SELECT затраты энергии на 14 % больше, и разница уменьшается с увеличением площади остекления до тех пор, пока не уравнивает-

ся при максимальном остеклении. Когда площадь остекления соответствует минимальным требованиям естественного освещения, в случае применения стеклопакета SUN SELECT энергопотребление на 8 % выше, чем при THERMO SKP.

Для того чтобы потребление энергии для отопления, охлаждения и освещения здания было минимальным, площадь остекления фасада здания должна соответствовать минимальным требованиям естественного освещения. Для исследуемого здания при применении стеклопакета SUN SELECT минимальное остекление фасада должно быть 56 %, при использовании стеклопакета THERMO SKP – 52 %.

При площади остекления фасада, соответствующей минимальным требованиям естественного освещения, общее потребление первичной энергии на отопление, охлаждение и освещение для исследуемого здания в случае применения стеклопакета SUN SELECT составляет 133 кВт•ч/м<sup>2</sup>, а для THERMO SKP – 123 кВт•ч/м<sup>2</sup>. Для стеклопакета SUN SELECT потребление первичной энергии на 8 % больше.

Затраты энергии при использовании стеклопакета THERMO SKP меньше, чем при SUN SELECT. Однако при увеличении площади остекления эта разница уменьшается, а при 100 %-ом остеклении даже уравнивается. Это объясняется тем, что пропускная способность солнечных лучей для стеклопакета THERMO SKP значительно выше, чем для SUN SELECT. При увеличении площади остекления в случае применения стеклопакета THERMO SKP увеличивающееся энергопотребление для охлаждения повышает общие затраты энергии.

Таким образом, если площадь остекления соответствует минимальным требованиям освеще-

ния, целесообразно использовать сохраняющий тепло стеклопакет THERMO SKP. Установлено, что при 100 %-ом остеклении не имеет значения, какой вид из рассмотренных стеклопакетов применять.

## Литература

1. Технический регламент строительства STR 2.01.09:2005 «Энергетическая эффективность зданий. Сертификация энергетической эффективности».
2. Sasnauskaitė V. Оптимизация площади остекления административного здания в зависимости от затрат энергии на освещение и охлаждение [Текст] / V. Sasnauskaitė, E. Juodis // Молодые энергетики 2007: ежегодная конференция аспирантов и молодых ученых. Каунас, Литовский энергетический институт, 7 июня 2007, ISSN 1822-7554 (CD).
3. Poirazis H. Energy simulations for glazed office buildings in Sweden [Text] / H. Poirazis, A. Blomsterberg, M. Wall // Energy and Buildings, 2008, Vol. 40, p. 1161–1170.
4. Гигиенические нормы Литвы HN 98: 2000 «Естественное и искусственное освещение рабочих мест. Предельные значения освещения и общие требования к измерениям».
5. Технический регламент строительства STR 2.05.20:2006 «Окна и наружные двери». ●

## ОБ АВТОРАХ

**С. Паулаускайте**, канд. техн. наук, доцент, Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва  
**В. Саснаускайте**, аспирант, магистр, Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва  
**К. Валанчюс**, канд. техн. наук, доцент, Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва