

# АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАРИАНТОВ ОСТЕКЛЕНИЯ

к.т.н. А.Г. Чесноков, С.А. Чесноков

АО “ГИС”, МИФИ

Как уже указывалось в статье А.Е. Горина и других в № 3 за этот год в Москве готовится проведение эксперимента по строительству энергосберегающих домов. В рамках выполнения этих работ проведено математическое исследование применяемых и возможных вариантов остекления жилых и общественных зданий.

Задачей исследования вариантов остекления являлось определение возможности их использования для снижения тепловых потерь через светопрозрачные ограждения в зданиях и сооружениях без существенного ухудшения естественной освещенности в помещениях. При проведении исследования учитывались только характеристики остекления без учета влияния на них переплетов. Метод математического моделирования был выбран для проведения исследования поскольку он обладает существенными преимуществами перед методом непосредственного измерения требуемых характеристик вариантов остекления, например, более низкой стоимостью и меньшими затратами времени. Определение оптических и тепловых характеристик стекол производилось в соответствии со следующими нормативными документами:

— ГОСТ 26302-93 “Стекло. Методы определения коэффициентов направленного пропускания и отражения света”;

— ИСО 9050:1990 “Стекло в строительстве — Определение светопропускания, прямого солнечного пропускания, общего пропускания солнечной энергии, и ультрафиолетового пропускания, и соответствующие параметры остекления”;

— ИСО 10292:1994 “Стекло в строительстве — Правила расчета величины U (коэффициента термического пропускания) для многослойного остекления”.

При анализе вариантов остекления учитывались требования следующих нормативных документов:

— СНиП II-3-79 “Строительная теплотехника”;

— СН 481-75 “Инструкция по проектированию, монтажу и эксплуатации стеклопакетов”;

— МГСН 2.01-94 “Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоснабжению”;

— СНиП 23-05-95 “Естественное и искусственное освещение”.

Исследование вариантов остекления включало в себя этапы:

— определение в испытательном центре “Стекло” для каждого вида стекол коэффициентов пропускания и отражения (с двух сторон стекла) в видимой области спектра (380-780 нм);

— определение в испытательном центре “Стекло” для каждого вида стекол коэффициентов пропускания и отражения (с двух сторон стекла) солнечной энергии (300-2500 нм);

— определение в испытательном центре “Стекло” для каждого вида стекол коэффициента отражения тепловой энергии (5-50 мкм);

— расчет интегральных оптических и тепловых характеристик вариантов остекления;

— анализ расчетных данных и сопоставление их с требованиями нормативных документов.

Примеры результатов исследования приведены в таблицах 1 и 2. Обозначения в таблицах:

F — полированное стекло марки  $M_1$  по ГОСТ 111-90 “Стекло листовое. Технические условия” (стекло float clear по EN 572-2 “Стекло в строительстве — базовые продукты. Часть 2. Стекло флоат”) толщиной 4 (F4) мм;

K — низкоэмиссионное стекло фирмы Pilkington под торговой маркой K-glass толщиной 4 мм, выпускаемое по спецификации фирмы FMS 8;

M6 — стекло листовое марки  $M_6$  по ГОСТ 111-90 толщиной 4 мм (наиболее распространенная марка оконного стекла в РФ);

A<sub>сер</sub> - стекло листовое, окрашенное в массе, марки Antisun фирмы Pilkington серого цвета толщиной 4 мм, выпускаемое по спецификации фирмы FMS 12;

A<sub>бр</sub> - стекло листовое, окрашенное в массе, марки Antisun фирмы Pilkington бронзового цвета толщиной 4 мм, выпускаемое по спецификации фирмы FMS 12;

A<sub>зел</sub> — стекло листовое, окрашенное в массе, марки Antisun фирмы Pilkington зеленого цвета толщиной 4 мм, выпускаемое по спецификации фирмы FMS 12;

R — стекло листовое с зеркальным покрытием марки Reflecta float фирмы Pilkington толщиной 4 мм, выпускаемое по спецификации фирмы FMS 10;

$S_{сб}$  — стекло листовое, окрашенное в массу, светло-бронзового цвета толщиной 4 мм, выпускаемое АО “Саратовский институт стекла” по ТУ 21-05524989-165-96 “Стекло листовое светотеплопоглощающее бронзовое”;

$S_б$  - стекло листовое, окрашенное в массу, бронзового цвета толщиной 4 мм, выпускаемое АО “Саратовский институт стекла” по ТУ 21-05524989-165-96 “Стекло листовое светотеплопоглощающее бронзовое”;

$S_{тб}$  - стекло листовое, окрашенное в массу, темно-бронзового цвета толщиной 4 мм, выпускаемое АО “Саратовский институт стекла” по ТУ 21-05524989-165-96 “Стекло листовое светотеплопоглощающее бронзовое”;

$S_{зг}$  - стекло листовое, окрашенное в массу, зелено-голубого цвета толщиной 4 мм, выпускаемое АО “Саратовский институт стекла” по ТУ 21-05524989-146.2-93 “Стекло листовое теплопоглощающее зеленовато-голубое толщиной 4,0; 5,0; 6,0 мм”;

Kauf — F4 с нанесенным на него низкоэмиссионным покрытием, выпускаемое ТОО “Кинг”;

PI — прозрачная теплосберегающая пленка производства ОАО “Квадропак”, образец взят из рекламного проспекта фирмы;

Air — воздушный промежуток между стеклами, цифры обозначают его толщину в мм (до 20 мм — стеклопакет клееный по ГОСТ 24866-89 “Стеклопакеты клееные. Технические условия”, больше 20 мм — обычные рамы по ГОСТ 11214-86 “Окна и балконные двери деревянные с двойным остеклением для жилых и общественных зданий. Типы, конструкция и размеры” и ГОСТ 16289-86 “Окна и балконные двери деревянные с тройным остеклением для жилых и общественных зданий. Типы, конструкция и размеры”);

Ar — промежуток между стеклами, заполненный аргоном, в стеклопакете по ГОСТ 24866-89 “Стеклопакеты клееные. Технические условия”, цифры обозначают его толщину в мм;

Kr — промежуток между стеклами, заполненный криптоном, в стеклопакете по ГОСТ 24866-89 “Стеклопакеты клееные. Технические условия”, цифры обозначают его толщину в мм;

$\tau_{v1}$  — коэффициент направленного пропускания света одним стеклом в видимой области спектра, чем он больше, тем лучше естественное освещение в помещении;

$\rho_{v1}$  — коэффициент отражения света одним стеклом в видимой области спектра со стороны улицы;

$\rho'_{v1}$  — коэффициент отражения света стеклом в видимой области спектра со стороны помещения;

$\alpha_{v1}$  — коэффициент поглощения света одним стеклом в видимой области спектра;

$\tau_{e1}$  — коэффициент направленного пропускания солнечной энергии одним стеклом;

$\rho_{e1}$  — коэффициент отражения одним стеклом солнечной энергии со стороны улицы;

$\rho'_{e1}$  — коэффициент отражения одним стеклом солнечной энергии со стороны помещения;

$\alpha_{e1}$  — коэффициент поглощения солнечной энергии одним стеклом;

$\epsilon_1$  — коэффициент теплового излучения стекла, чем он меньше, тем меньше потери тепла;

$\tau_v$  — коэффициент пропускания света в видимой части спектра данным вариантом остекления, чем он больше, тем лучше естественное освещение в помещении;

$U$  — коэффициент термического пропускания для данного варианта остекления, Вт/(м<sup>2</sup>К), чем он меньше, тем меньше потери тепла;

$R=1/U$  — термическое сопротивление для данного варианта остекления, м<sup>2</sup>К/Вт, чем оно больше, тем лучше для сохранения тепла в помещении, в соответствии с МГСН 2.01-94 “Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению” он должен быть не менее 0,55 м<sup>2</sup>К/Вт;

$K$  — коэффициент энергетической эффективности, рассчитываемый по аналогии со статьей профессора В.К. Савина (В.К. Савин “Окна для массового строительства жилых зданий в Москве и Московской области” — “Окна и двери”, 1997 г., № 2, стр. 21-23) по формуле:  $K=(1/U_{\delta} \cdot t_{v\delta})/(1/U \cdot t_v)$ , чем меньше коэффициент, тем лучше. В качестве базового варианта (характеристики с индексом  $\delta$ ) использован наиболее широко распространенный в жилищном строительстве: два стекла марки М<sub>6</sub> толщиной 4 мм каждое, разделенных воздушным промежутком толщиной 100 мм.

Варианты остекления, отвечающие требованиям МГСН 2.01-94 “Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению” ( $1/U$  не менее 0,55 м<sup>2</sup>К/Вт) и имеющие коэффициент энергетической эффективности не более 0,9 (экономящие не менее 10 % энергии по сравнению с базовым вариантом) выделены в таблице 2 жирным шрифтом.

## Оптические характеристики стекол

|                  | $\tau_{vl}$ | $\rho_{vl}$ | $\rho'_{vl}$ | $\alpha_{vl}$ | $\tau_{el}$ | $\rho_{el}$ | $\rho'_{el}$ | $\alpha_{el}$ | $\varepsilon_1$ |
|------------------|-------------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|-----------------|
| F4               | 0,89        | 0,08        | 0,08         | 0,03          | 0,82        | 0,07        | 0,07         | 0,11          | 0,84            |
| K                | 0,84        | 0,11        | 0,1          | 0,05          | 0,73        | 0,1         | 0,09         | 0,17          | 0,18            |
| M6               | 0,85        | 0,08        | 0,08         | 0,07          | 0,78        | 0,07        | 0,07         | 0,15          | 0,84            |
| A <sub>сер</sub> | 0,55        | 0,05        | 0,05         | 0,4           | 0,55        | 0,05        | 0,05         | 0,4           | 0,85            |
| A <sub>бр</sub>  | 0,61        | 0,06        | 0,06         | 0,33          | 0,58        | 0,06        | 0,06         | 0,36          | 0,85            |
| A <sub>зел</sub> | 0,78        | 0,07        | 0,07         | 0,15          | 0,58        | 0,05        | 0,05         | 0,37          | 0,85            |
| R                | 0,32        | 0,46        | 0,52         | 0,22          | 0,46        | 0,31        | 0,39         | 0,23          | 0,85            |
| S <sub>сб</sub>  | 0,78        | 0,07        | 0,07         | 0,15          | 0,75        | 0,07        | 0,07         | 0,18          | 0,85            |
| S <sub>б</sub>   | 0,74        | 0,07        | 0,07         | 0,19          | 0,68        | 0,07        | 0,07         | 0,25          | 0,85            |
| S <sub>тб</sub>  | 0,65        | 0,06        | 0,06         | 0,29          | 0,66        | 0,06        | 0,06         | 0,28          | 0,85            |
| S <sub>зг</sub>  | 0,77        | 0,07        | 0,07         | 0,16          | 0,66        | 0,06        | 0,06         | 0,28          | 0,85            |
| Kauf             | 0,32        | 0,18        | 0,23         | 0,5           | 0,31        | 0,2         | 0,25         | 0,49          | 0,70            |
| Pl               | 0,74        | 0,12        | 0,14         | 0,14          | 0,63        | 0,11        | 0,13         | 0,11          | 0,28            |

Таблица 2

## Тепловые характеристики вариантов остекления

|                              | U    | 1/U  | $\tau_v$ | K    |
|------------------------------|------|------|----------|------|
| F4-Air6-F4                   | 3,29 | 0,30 | 0,80     | 1,05 |
| F4-Air12-F4                  | 2,86 | 0,35 | 0,80     | 0,91 |
| F4-Air16-F4                  | 2,74 | 0,36 | 0,80     | 0,87 |
| F4-Air20-F4                  | 2,76 | 0,36 | 0,80     | 0,88 |
| F4-Air50-F4                  | 2,81 | 0,36 | 0,80     | 0,90 |
| F4-Air100-F4                 | 2,86 | 0,35 | 0,80     | 0,91 |
| F4-Ar6-F4                    | 3,03 | 0,33 | 0,80     | 0,97 |
| F4-Ar12-F4                   | 2,68 | 0,37 | 0,80     | 0,86 |
| F4-Ar16-F4                   | 2,62 | 0,38 | 0,80     | 0,83 |
| F4-Ar20-F4                   | 2,63 | 0,38 | 0,80     | 0,84 |
| F4-Ar50-F4                   | 2,67 | 0,37 | 0,80     | 0,85 |
| F4-Ar100-F4                  | 2,71 | 0,37 | 0,80     | 0,86 |
| F4-Kr6-F4                    | 2,71 | 0,37 | 0,80     | 0,86 |
| F4-Kr12-F4                   | 2,56 | 0,39 | 0,80     | 0,81 |
| F4-Kr20-F4                   | 2,58 | 0,39 | 0,80     | 0,82 |
| F4-Kr50-F4                   | 2,62 | 0,38 | 0,80     | 0,83 |
| F4-Kr100-F4                  | 2,65 | 0,38 | 0,80     | 0,85 |
| M64-Air100-M64               | 2,86 | 0,35 | 0,73     | 1    |
| A <sub>сер</sub> 4-Air100-F4 | 2,87 | 0,35 | 0,49     | 1,48 |
| A <sub>сер</sub> 4-Air100-K4 | 1,95 | 0,51 | 0,46     | 1,07 |
| A <sub>бр</sub> 4-Air100-F4  | 2,87 | 0,35 | 0,55     | 1,34 |
| A <sub>бр</sub> 4-Air100-K4  | 1,95 | 0,51 | 0,52     | 0,96 |
| A <sub>зел</sub> 4-Air100-F4 | 2,87 | 0,35 | 0,70     | 1,04 |
| A <sub>зел</sub> 4-Air100-K4 | 1,95 | 0,51 | 0,66     | 0,75 |
| R4-Air100-F4                 | 2,88 | 0,35 | 0,30     | 2,46 |

|   | U           | 1/U         | $\tau_v$    | K           |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| R4-Air100-K4                                | 1,95        | 0,51        | 0,28        | 1,75        |
| S <sub>сб</sub> 4-Air100-F4                 | 2,87        | 0,35        | 0,70        | 1,04        |
| S <sub>сб</sub> 4-Air100-K4                 | 1,95        | 0,51        | 0,66        | 0,75        |
| S <sub>б</sub> 4-Air100-F4                  | 2,87        | 0,35        | 0,66        | 1,10        |
| S <sub>б</sub> 4-Air100-K4                  | 1,95        | 0,51        | 0,63        | 0,79        |
| S <sub>тб</sub> 4-Air100-F4                 | 2,87        | 0,35        | 0,58        | 1,25        |
| S <sub>тб</sub> 4-Air100-K4                 | 1,95        | 0,51        | 0,55        | 0,90        |
| S <sub>зр</sub> 4-Air100-F4                 | 2,87        | 0,35        | 0,69        | 1,06        |
| S <sub>зр</sub> 4-Air100-K4                 | 1,95        | 0,51        | 0,65        | 0,76        |
| <b>F4-Air16-K4</b>                          | <b>1,74</b> | <b>0,58</b> | <b>0,75</b> | <b>0,59</b> |
| F4-Air100-K4                                | 1,95        | 0,51        | 0,75        | 0,66        |
| <b>F4-Ar16-K4</b>                           | <b>1,51</b> | <b>0,66</b> | <b>0,75</b> | <b>0,5</b>  |
| <b>K4-Air100-K4</b>                         | <b>1,78</b> | <b>0,56</b> | <b>0,71</b> | <b>0,63</b> |
| <b>K4-Kr16-K4</b>                           | <b>1,19</b> | <b>0,84</b> | <b>0,71</b> | <b>0,42</b> |
| Kauf-Air100-F4                              | 2,73        | 0,37        | 0,29        | 2,39        |
| <b>F4-Air100-F4-Air100-F4</b>               | <b>1,79</b> | <b>0,56</b> | <b>0,72</b> | <b>0,63</b> |
| <b>M64-Air100-M64-Air100-M64</b>            | <b>1,79</b> | <b>0,56</b> | <b>0,62</b> | <b>0,73</b> |
| <b>F4-Air100-F4-Air100-K4</b>               | <b>1,30</b> | <b>0,77</b> | <b>0,68</b> | <b>0,48</b> |
| A <sub>сеп</sub> 4-Air100-F4-Air100-F4      | 1,80        | 0,56        | 0,44        | 1,03        |
| A <sub>бп</sub> 4-Air100-F4-Air100-F4       | 1,80        | 0,56        | 0,49        | 0,93        |
| <b>A<sub>зел</sub>4-Air100-F4-Air100-F4</b> | <b>1,80</b> | <b>0,56</b> | <b>0,63</b> | <b>0,72</b> |
| R4-Air100-F4-Air100-F4                      | 1,80        | 0,56        | 0,28        | 1,66        |
| <b>S<sub>сб</sub>4-Air100-F4-Air100-F4</b>  | <b>1,80</b> | <b>0,56</b> | <b>0,63</b> | <b>0,73</b> |
| <b>S<sub>б</sub>4-Air100-F4-Air100-F4</b>   | <b>1,80</b> | <b>0,56</b> | <b>0,60</b> | <b>0,77</b> |
| <b>S<sub>тб</sub>4-Air100-F4-Air100-F4</b>  | <b>1,80</b> | <b>0,56</b> | <b>0,52</b> | <b>0,87</b> |
| <b>S<sub>зр</sub>4-Air100-F4-Air100-F4</b>  | <b>1,80</b> | <b>0,56</b> | <b>0,62</b> | <b>0,74</b> |
| Kauf-Air100-F4-Air100-F4                    | 1,73        | 0,58        | 0,26        | 1,66        |
| <b>F4-Air50-Pl-Air50-F4</b>                 | <b>1,13</b> | <b>0,89</b> | <b>0,60</b> | <b>0,48</b> |
| <b>F4-Ar10-Pl-Ar10-F4</b>                   | <b>1,20</b> | <b>0,83</b> | <b>0,60</b> | <b>0,51</b> |
| <b>K4-Ar16-K4-Ar16-K4</b>                   | <b>0,68</b> | <b>1,46</b> | <b>0,61</b> | <b>0,28</b> |
| <b>K4-Kr16-K4-Kr16-K4</b>                   | <b>0,57</b> | <b>1,75</b> | <b>0,61</b> | <b>0,24</b> |
| <b>K4-Air100-F4-Ar16-K4</b>                 | <b>0,92</b> | <b>1,09</b> | <b>0,64</b> | <b>0,36</b> |

Из проведенного исследования оптических и тепловых свойств возможных вариантов остекления жилых и общественных зданий можно сделать следующие выводы:

— Максимальный коэффициент направленного пропускания света в видимой области имеет стекло марки M<sub>1</sub> (float), поэтому применение его в остеклении вместо марки M<sub>6</sub> улучшает коэффициент энергетической эффективности K.

— Из стекол с покрытиями максимальный коэффициент направленного пропускания света в видимой области имеет стекло K-glass фирмы Pilkington, что обеспечивает высокую энергетическую эффективность его применения.

— Как видно из таблицы 2 применение стеклопакетов целесообразно только при толщине воздушного промежутка 16-20 мм, при меньшей толщине промежутка их тепловые характеристики хуже базового варианта.

— Самый простой и эффективный с точки зрения соотношения цены и экономии энергии способ улучшения тепловых характеристик остекления — замена одного оконного стекла на К-glass.

— Наилучшие показатели имеют стеклопакеты из стекол К-glass с толщиной камеры 16 мм, заполненные криптоном. Однако, как видно из таблицы 2 применение стеклопакетов, заполненных инертными газами, дает относительно небольшой эффект и целесообразно только для достижения рекордных показателей.

1997