

Никитин В.И., Кофанов В.А.

## ОБ УЧЕТЕ КОСОГО ДОЖДЯ И КАПИЛЛЯРНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

**Введение.** Общеизвестны негативные причины и последствия повышенного влагосодержания наружных ограждающих конструкций зданий из капиллярно-пористых материалов. В многочисленных работах, например [1–4], отмечается, что одной из главных причин увлажнения ограждающих конструкций является косой дождь (WDR – англ. wind-driven rain). Явление косого дождя (WDR) заключается в одновременном воздействии атмосферных осадков и ветра на рассматриваемый фрагмент наружной поверхности ограждающей конструкции здания, которые необходимо учитывать при расчетах влажностного состояния ограждающих конструкций.

В Европейской норме [5] при расчетах нестационарных процессов переноса влаги в капиллярно-пористых материалах ограждающих конструкций также рекомендуется учитывать явление косого дождя. Для иницирования расчетов в начальный и последующие моменты времени необходимо знать влагосодержание материала  $W$ , кг/м<sup>3</sup> и массу жидкости, которая впитывается единичной поверхностью ограждения за единицу времени воздействия косого дождя (плотность потока влаги)  $g_w$ , кг/(м<sup>2</sup>·с). Значение  $g_w$  непосредственно связано с массой дождевой влаги, падающей на единичную поверхность ограждения в единицу времени  $g_p$ , кг/(м<sup>2</sup>·с), и не может превышать значения плотности потока воды, которая может быть поглощена материалом на поверхности ограждения  $g_{w,max}$ , кг/(м<sup>2</sup>·с) ( $g_w = g_p$ , если  $g_p < g_{w,max}$ ). Согласно нормы [5] без каких-либо пояснений принимается

$$g_w = \min(g_p, g_{w,max}). \quad (1)$$

Значение плотности потока влаги  $g_p$  зависит от ряда факторов, характеризующих местный климат (интенсивность дождевых осадков, направление и скорость ветра), геометрию рассматриваемого здания и окружающие его условия (например, соседние здания, деревья, рельеф местности). Указанные факторы в той или иной мере учитываются различными моделями, описанными, например, в работах [2, 6, 7] и позволяющими с различной точностью рассчитать интенсивность дождя, падающего на вертикальную поверхность ограждающей конструкции.

При определении плотности потока влаги  $g_w$  ( $g_w \leq g_{w,max}$ ,  $g_{w,max} \geq 0$ ) необходимо учитывать всасывающую способность поверхностного слоя материала ограждающей конструкции, т.е. поток влаги  $g_{w,max}$ . Этот показатель зависит от изменяющихся в процессе воздействия WDR влагосодержания материала, его коэффициента сорбции воды перед началом воздействия косого дождя, а также влагосодержания материала в момент его капиллярного водонасыщения (когда можно принять  $g_w = g_{w,max} = 0$ ). Как учитывать отмеченные особенности капиллярного впитывания воды при расчетах влажностного состояния ограждающих конструкций в условиях воздействия косого дождя, не описано ни в норме [5], ни в известных нам источниках. Можно лишь отметить, что в общепризнанной программе для тепловлажностного проектирования ограждающих конструкций WUFI [1] определение потока влаги  $g_w$  предлагается вычислять с помощью соотношения

$$g_w = k \cdot g_p, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент поглощения дождя, принимаемый равным 0,7.

Очевидно, что использование зависимости (1) и (2) может приводить к погрешностям при определении влагосодержания ограждающих конструкций в условиях воздействия косого дождя.

В данной работе рассмотрены и проанализированы основные модели для определения плотности потока воды, падающей на вертикальную поверхность ограждающей конструкции при косом дожде, а также предложен метод определения плотности потока влаги, впитываемой вертикальной поверхностью ограждения при воздействии косого дождя.

**Моделирование косого дождя.** Как следует из работы [2], цитирующей 303 источника, изучением явления косого дождя (WDR) и последствий его воздействия на ограждающие конструкции зданий в строительной науке занимаются более 60 лет и к настоящему времени для определения интенсивности свободного и падающего на поверхность ограждающей конструкции дождя разработаны эмпирические, полумпирические и численные (компьютерная имитация) методы.

Если предположить, что все капли дождя имеют одинаковый размер, что поток ветра имеет устойчивое горизонтальное направление, одинаковую скорость и всегда перпендикулярен рассматриваемой вертикальной поверхности, то согласно [2] получаем простую теоретическую формулу для определения количества свободного косого дождя  $R_{wdr}^f$ , пересекающего рассматриваемую вертикальную единичную поверхность воздушного пространства (горизонтальная составляющая косого дождя)

$$R_{wdr}^f = R_h \cdot \frac{u}{V_t}, \quad (3)$$

где  $R_h$  – интенсивность косого дождя, падающего на горизонтальную поверхность в единицу времени, мм/ч или л/(м<sup>2</sup>·ч);

$u$  – скорость ветра, м/с;

$V_t$  – конечная скорость падения капель дождя, м/с.

Однако принятые при выводе формулы (3) допущения в реальном потоке дождя обычно не соблюдаются. Капли дождя имеют различный размер, падают с различной скоростью и под различным углом наклона, соударяясь между собой, они могут укрупняться или измельчаться одновременно. Чтобы учесть суммарный эффект всего диапазона размеров падающих капель, Hoppestad S. (1955) [2] предложил от формулы (3) перейти к следующему соотношению, связывающему горизонтальную  $R_{wdr}^f$  и вертикальную  $R_h$  составляющие свободного косого дождя

$$R_{wdr}^f = k \cdot u \cdot R_h, \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент свободного косого дождя, с/м.

Если на открытой местности и заданных интервалах времени при наличии осадков дождя с помощью специальных измерительных устройств (ветро- и дождеприемников) собрать данные о значениях  $u$ ,  $R_h$  и  $R_{wdr}^f$ , то по формуле (4) можно вычислить значение коэффициента  $k$ . Устройства для одновременного измерения показателей свободного косого дождя  $R_h$  и  $R_{wdr}^f$ , а также вопросы точности этих измерений подробно рассмотрены в работе [2].

Проанализировав результаты многочисленных экспериментальных данных, Lacy R.E. (1965) [2] уточнил формулу (4), предложив принять среднее значение коэффициента свободного косого дождя равным  $k=0,222$  с/м. Тогда

$$R_{wdr}^f = 0,222 \cdot u \cdot R_h^{0,88} \approx 0,222 \cdot u \cdot R_h. \quad (5)$$

Формула (5) позволяет определить усредненное значение интенсивности свободного косого дождя  $R_{wdr}^f$  на основе стандартных

**Никитин Вадим Иванович**, доктор технических наук, профессор Государственной высшей школы в Бялой Подляске, Польша.

**Кофанов Валерий Анатольевич**, ст. преподаватель кафедры информатики и прикладной математики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Строительство и архитектура

данных  $u$  и  $R_h$ , измеренных на метеорологических станциях. Отмечается [2], что результаты многочисленных измерений интенсивности свободного косоуго дождя хорошо согласуются с результатами расчетов по формуле (5).

Эта задача может быть решена и по формуле (3) после определения конечной скорости падения капель  $v_f(d)$ , м/с. Если известен диаметр капель  $d$ , мм, то для определения конечной скорости их падения  $v_f(d)$  можно воспользоваться полиномом третьего порядка, построенным по экспериментальным данным и приведенным в работах [7, 8],

$$v_f(d) = -0,166033 + 4,91844 \cdot d - 0,888016 \cdot d^2 + 0,054888 \cdot d^3 \leq 9,2 \text{ м/с.} \quad (6)$$

В качестве оценки среднего диаметра капель дождя (по медиане) можно использовать формулу, полученную Best A.C. (1950) [7]

$$\bar{d} = 1,105 \cdot R_h^{0,232}. \quad (7)$$

Отметим, что при коэффициенте  $k=0,222$  с/м, используемом в формуле (5), конечная скорость падения капель дождя одинакового размера составляет  $v_f(1/0,222)=4,5$  м/с, которой, согласно формуле (6), соответствуют капли среднего размера 1,2 мм. Расчет по формуле (7) показал, что капли такого среднего диаметра ( $\bar{d}=1,2$  мм) формируются при интенсивности дождя  $R_h=2$  мм/ч. Полученный показатель характерен для дождей умеренной средней интенсивности, при которых коэффициент свободного косоуго дождя  $k$  изменяется между 0,2 и 0,25 с/м. При моросящих дождях ( $\bar{d}=0,5$  мм) имеем  $k \approx 0,5$  с/м, а при ливнях ( $\bar{d}=5$  мм)  $k \approx 0,1$  с/м. Таким образом, коэффициент свободного дождя  $k$  может изменяться в довольно широком диапазоне, однако в методах и стандартах ряда стран, например, Британском [1] и Европейском [6] используется значение  $k=0,222$  с/м.

В результате сложного взаимодействия свободного косоуго дождя с поверхностью ограждающей конструкции интенсивность косоуго дождя, падающего на рассматриваемый фрагмент поверхности конструкции  $R_{wdr}$ , будет отличаться от интенсивности свободного косоуго дождя  $R_{wdr}$  и неравномерно распределяться по поверхности смачиваемого фасада здания. Для определения интенсивности косоуго дождя, падающего на вертикальную поверхность ограждающей конструкции, предложено ряд моделей, основанных на одной и той же формуле [7],

$$R_{wdr} = \alpha \cdot u_{10} \cdot R_h^{0,88} \cdot \cos(\theta), \quad (8)$$

где  $u_{10}$  – скорость ветра на высоте 10 м от поверхности земли, м/с;

$\theta$  – угол между направлением ветра на высоте 10 м от поверхности земли  $\phi_{10}$  и нормалью к вертикальной поверхности фасада здания;

$\alpha$  – коэффициент косоуго дождя, с/м.

Входные метеорологические данные, используемые при расчетах  $R_{wdr}$  по формуле (8), состоят из средних значений  $u_{10}$ ,  $\phi_{10}$  и  $R_h$ , измеренных одновременно на часовом или 10-минутном интервалах, принимаемых в качестве шага времени  $\Delta t$ . Каждая из рассматриваемых ниже моделей отличались друг от друга лишь способом определения коэффициента  $\alpha$ .

Так, при использовании SB модели, разработанной Straube J.F. и Burnett E.F.P. (2000) [7], коэффициент  $\alpha$  определяется по формуле

$$\alpha = DRF \cdot RAF \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{\beta} \cdot R_h^{0,12}, \quad (9)$$

где  $DRF$  – функция косоуго дождя (англ. driving rain function);

$RAF$  – фактор впуска дождя (англ. rain admittance factor);

$z$  – высота над поверхностью земли, м.

Значение  $DRF$  обратно пропорционально конечной скорости падения капель дождя  $v_f$ , определяемой из соотношения (6) с учетом формулы (7).  $DRF$  зависит от интенсивности дождя  $R_h$ , кото-

рая изменяется во времени. Показатель  $RAF$  не меняется во времени и зависит от типа здания и рассматриваемого фрагмента фасада, принимая значения от 0,2 до 1,0 (см. рисунок в [7]). Третий множитель в формуле (9), включающий  $z$  и  $\beta$ , оценивает влияние шероховатости местности, на которой расположено здание, на профиль скорости ветра.

Коэффициент  $\alpha$  в ISO модели (англ. International Organization for Standardization) имеет следующий вид [6, 7]:

$$\alpha = 0,222 \cdot C_R \cdot C_T \cdot O \cdot W, \quad (10)$$

где  $C_R$  – коэффициент шероховатости (англ. roughness coefficient);

$C_T$  – коэффициент топографии (англ. topography coefficient);

$O$  – фактор заграждения (англ. obstruction factor);

$W$  – фактор стены (англ. wall factor).

Коэффициент шероховатости  $C_R$  учитывает изменение средней скорости ветра в зависимости от высоты  $z$  над поверхностью земли и шероховатости местности в направлении, откуда дует ветер. Значение коэффициента  $C_R$  на высоте  $z$  определяется по одной из двух приведенных ниже формул:

$$C_R(z) = K_R \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ для } z \geq z_{\min} \quad (11)$$

$$C_R(z) = C_R(z_{\min}) \text{ для } z < z_{\min}. \quad (12)$$

где параметры  $K_R$  (фактор местности),  $z_0$  и  $z_{\min}$  (высота) выбираются в зависимости от категории местности (учитывается четыре категории местности). Так, для местности II-й категории (сельская местность) из таблицы 1 [6] имеем:  $K_R=0,19$ ;  $z_0=0,05$  м;  $z_{\min}=4$  м. Тогда, например, на высоте  $z=10$  м  $> z_{\min}=4$  м по формуле (11) определяем значение коэффициента шероховатости

$$C_R(10) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,05}\right) = 1,007,$$

при  $z=3$  м  $< z_{\min}=4$  м по формуле (12) получим:

$$C_R(3) = C_R(4) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{4}{0,05}\right) = 0,8326.$$

Коэффициент топографии  $C_T$  учитывает возрастание скорости ветра над уединенными холмами или откосами и определяется с учетом тангенса угла наклона склона холма  $\Phi$ , местоположения на склоне  $x$ , высотой над этим местом  $z$  и направлением ветра по отношению к откосу. Так, с наветренной стороны пологого откоса ( $\Phi=0,3$ ) при  $z=0$  имеем: на вершине откоса ( $x=0$ )  $C_T=1,6$ ; у подножья ( $x=-1$ )  $C_T=1,03$ , на середине склона ( $x=-0,5$ )  $C_R=1,18$ . Для плоских поверхностей земли ( $\Phi < 0,05$ ) принимается  $C_R=1,0$ .

Фактор заграждения  $O$  учитывает эффект укрытия стены от ветра ближайшим заграждением, и его значение принимается в зависимости от расстояния  $L$  до заграждения. Например, если  $L=4-8$  м, то  $O=0,2$ ; при  $L > 120$  м (практически открытая местность)  $O=1,0$ . При оценивании фактора  $O$  нужно учитывать и высоту заграждения, которая должна быть соизмерима с высотой рассматриваемой стены. Кроме того, нужно иметь в виду, что находящиеся рядом препятствия (например, здания) могут вызывать такие аэродинамические эффекты, при которых для фактора  $O$  рекомендуется принимать максимальное значение  $O=1$ .

Фактор стены  $W$  является попыткой учесть тип стены (высота, свес крыши и т.д.) и неравномерность распределения количества косоуго дождя по поверхности фасада из-за потоков воздуха вокруг наружных углов здания, ребер крыши и т.д. Согласно [6], фактор стены  $W$  принимает значения от 0,2 до 0,5.

Рассмотренные показатели  $C_R$ ,  $C_T$ ,  $O$  и  $W$  не зависят от времени, так как они не связаны с метеорологическими данными  $u_{10}$ ,  $\phi_{10}$  и  $R_h$ , которые изменяются во времени.

Коэффициент  $\alpha$  в CFD модели (англ. Computational Fluid Dynamics) согласно [7] представлен в следующем виде:

$$\alpha = \frac{\eta \cdot R_h^{0,12}}{u_{10} \cdot \cos(\theta)}, \quad (13)$$

где  $\eta$  является отношением  $R_{wdr}/R_h$ . В этом легко убедиться, подставив выражение (13) в формулу (8). Значения  $\eta$  определяются путем CFD имитации для каждого шага времени  $\Delta t$ , характеризуемого средними значениями  $u_{10}$ ,  $\varphi_{10}$  и  $R_h$ , и любого фрагмента (точки) поверхности ограждения. Результаты CFD имитации представляются в различной форме, в том числе графической, например, в виде линий равного уровня [4].

Предсказательная способность описанных методов определения интенсивности косого дождя  $R_{wdr}$  была проверена экспериментально с помощью приемников косого дождя, установленных на стенах низкого (I тип) и высокого (II тип) зданий [7]. Фасад низкого здания был прямоугольным в плане с размерами 4.26×11.25 м и имел западную ориентацию. На этом фасаде было установлено восемь дождеприемников, центры нижнего ряда этих устройств находились на высоте 1.4 м от поверхности земли. Фасад высокого здания (башня высотой 34,5 м) имел юго-западную ориентацию, и на нем было установлено четыре дождеприемника, один из которых был установлен на высоте 18 м, а остальные три на высоте 29 м от поверхности земли.

Для здания I-го типа определение составляющих косого дождя  $R_{wdr}$  и  $R_h$  выполнено на 120 часовых интервалах, а для здания II-го типа на 144 десятиминутных интервалах. На сумме этих интервалов определяли накопленное (аккумулированное) количество дождя  $\Sigma R_{wdr}$  и  $\Sigma R_h$ , а также отношение  $\eta_s = (\Sigma R_{wdr}) / (\Sigma R_h)$ .

Результаты сравнения значений отношений  $\eta_s$ , найденных путем измерений с рассчитанными по рассмотренным моделям для зданий I-го и II-го типов, оказались существенно отличающимися.

Так, для здания I-го типа среднее значение отношения  $\eta_s$ , найденное по восьми пунктам измерений, точнее всего предсказывается ISO моделью (расчетное значение превышает опытное на +7,1%), этому результату уступает CFD модель (расчетное значение оказалось меньше опытного на -19,5%) хуже всего значение  $\eta_s$  предсказывается моделью SBmax (превышение почти двухкратное +96,1%). Для здания II-го типа среднее значение  $\eta_s$ , определенное по четырем пунктам измерений, предсказывается моделями по точности в иной последовательности. Лучший результат дает CFD модель (-15,6%), существенно завышенный результат у модели SBmax (+51,6%), и, наконец, оценка которая получена с помощью ISO модели, оказалась в 2,78 раза меньше опытной. На основе выполненного сравнения при расчете горизонтальной составляющей косого дождя  $R_{wdr}$  для зданий I-го типа целесообразно использовать ISO модель, а для зданий II-го типа - CFD модель.

При известном значении  $R_{wdr}$ , измеряемом в мм/ч (1 мм/ч = 1 л/(м<sup>2</sup>·ч) = 2,777·10<sup>-4</sup> кг/(м<sup>2</sup>·с)) можно определить плотность потока дождя, падающего на вертикальную поверхность

$$g_p = 2,777 \cdot 10^{-4} \cdot R_{wdr}, \quad (14)$$

которая используется при оценке плотности потока влаги  $g_w$ , всасываемой внутрь ограждения через его поверхность.

**Моделирование плотности потока влаги, впитываемой на вертикальной поверхности ограждающей конструкции при косом дожде.** Как уже отмечалось, для иницирования расчетов нестационарного процесса переноса влаги в капиллярно-пористых материалах ограждающих конструкций при косом дожде, горизонтальная составляющая которого имеет плотность  $g_p$ , необходимо знать плотность потока влаги  $g_w$ , впитываемой вертикальной поверхностью ограждения. Впитывающая способность поверхностного слоя материала ограждения определяется его капиллярными свойствами и влагосодержанием  $W$ , кг/м<sup>3</sup> и в рассматриваемой задаче характеризуется потоком влаги, направленным внутрь ограждения  $g_{x=0} = g_{w \max}$ .

Для абсолютно сухого материала ( $w=0$ ) поток влаги  $g_w \max$  имеет наибольшее значение, а при капиллярном водонасыщении ( $w=W_k$ ) – наименьшее (стремится к нулю). Такое явление можно наблюдать в случае, когда по вертикальной поверхности ограждения стекает устойчивая пленка воды. Задачи, связанные с моделированием процесса стекания жидких пленок по вертикальной поверхности, подробно рассмотрены, например, в работе [9]. С использованием зависимостей, приведенных в этой работе, был выполнен расчет, который показал, что пленка воды толщиной 0,25 мм в комнатных условиях стекает по вертикальной поверхности со скоростью 0,2 м/с в ламинарном режиме.

Если в начале дождя предположить, что  $g_p \geq g_w \max$  (довольно редкий случай) и на вертикальной поверхности ограждения образовалась устойчивая пленка воды, а материал является абсолютно сухим, однородным и изотропным, то количество воды  $W$ , кг/м<sup>2</sup>, впитываемое через единицу поверхности в неограниченное полупространство за время  $\tau$ , равно

$$W = A \cdot \sqrt{\tau}, \quad (15)$$

где  $A$  – коэффициент сорбции воды, кг/(м<sup>2</sup>·с<sup>0,5</sup>).

Графическая иллюстрация этого явления представлена на рис. 1.

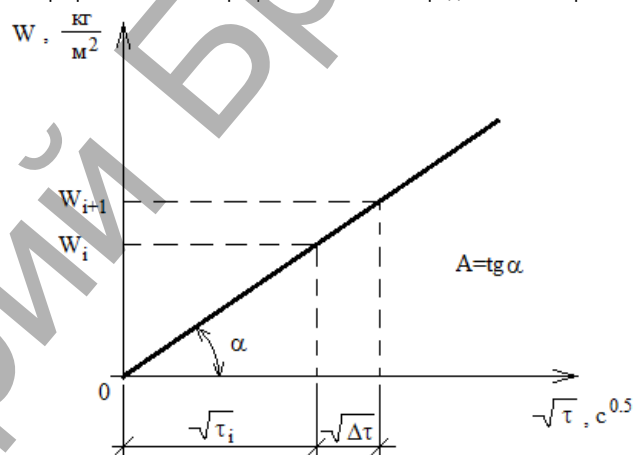


Рис. 1. Зависимость количества воды  $W$ , впитываемой однородным и изотропным капиллярно-пористым материалом неограниченной толщины через плоскую единичную поверхность

При этом реальный профиль влажности материала в направлении капиллярного переноса влаги  $W(x, \tau)$  заменяется эквивалентным прямоугольным профилем, показанным на рисунке 2.

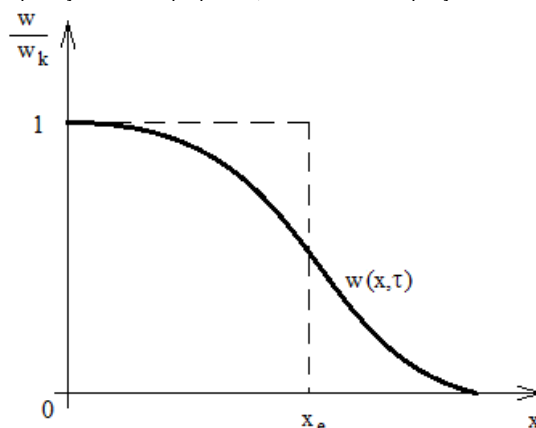


Рис. 2. Типичный профиль влажности материала в направлении капиллярного переноса воды  $W(x, \tau)$  (непрерывная линия) и заменяющий его эквивалентный прямоугольный профиль (пунктирная линия)

Размеры прямоугольного (эквивалентного) профиля можно считать, используя равенство

$$w_k \cdot x_e = \int_0^l w(x, \tau) dx = A \cdot \sqrt{\tau}, \quad (16)$$

где  $w_k$  – влажность материала в состоянии капиллярного водонасыщения, кг/м<sup>3</sup>;

$x_e$  – граница между сухой и влажной частями материала (толщина водонасыщенного слоя), м.

Значения  $A$  и  $w_k$  обычно определяются с помощью специального эксперимента, при котором отслеживается изменение массы воды в образце материала высотой  $x=h$  и постоянного поперечного сечения в процессе одномерного капиллярного впитывания воды. Достаточно подробно особенности опытного определения значений  $A$  и  $w_k$ , среди прочих, описаны в работах [10, 11, 12].

Плотность потока влаги  $g_{x=0}$  через поверхность ограждающей конструкции и во всем водонасыщенном слое  $x_e$  является производной значения  $W$  по времени  $\tau$

$$g_{x=0} = g_{wmax} = \frac{dW}{d\tau} \approx \frac{\Delta W}{\Delta \tau}, \quad (17)$$

где  $\Delta \tau$  – расчетный интервал времени, с.

В соответствии с рисунком 1 и формулой (15) имеем:

$$g_w = g_{wmax} = \frac{\Delta W}{\Delta \tau} = \frac{W_{i+1} - W_i}{\Delta \tau} = \frac{A \cdot (\sqrt{\tau_i + \Delta \tau} - \sqrt{\tau_i})}{\Delta \tau}. \quad (18)$$

Из формулы (18) следует, что во время косого дождя плотность потока влаги  $g_w = g_{wmax}$  уменьшается и впитывание дождевой влаги должно прекращаться после того, как в элементарном расчетном поверхностном слое толщиной  $d$  влагосодержание достигнет значения капиллярного водонасыщения  $w_k$ . Значение влажности  $W$  в наружном расчетном слое толщиной  $d$  необходимо отслеживать на каждом шаге расчетов, используя формулу,

$$w = \frac{W}{d}. \quad (19)$$

Если в начале косого дождя оказывается, что  $g_p < g_{wmax}$  (типичный случай) и на вертикальной поверхности ограждающей конструкции не образуется устойчивой пленки воды (падающие капли дождя сразу же поглощаются материалом поверхностного слоя), то на каждом  $i+1$  шаге расчетов для принятого интервала времени  $\Delta \tau$  и толщине наружного слоя ограждения  $d$  имеем:

$$g_w = g_p = \frac{W'_{i+1} - W'_i}{\Delta \tau} \text{ и } w = \frac{W}{d}. \quad (20)$$

Найденное влагосодержание наружного слоя  $w$  не должно превышать значения капиллярного водонасыщения  $w_k$ . Одновременно на каждом шаге расчетов нужно сравнивать значение  $g_{wmax}$  с  $g_w = g_p$  и в случае их равенства переходить к расчету потока влаги  $g_w$  по формуле (18). Это означает, что на поверхности ограждения образуется пленка воды.

Графическая интерпретация особенностей расчета потока впитываемой влаги  $g_w$  по формулам (18), (19) и (20) приведена на рис. 3.

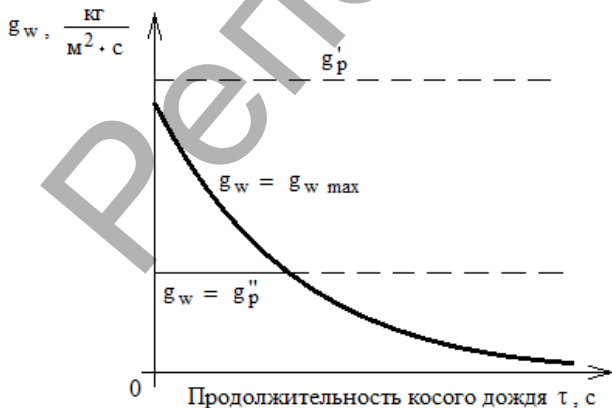


Рис. 3. Зависимость плотности потока влаги  $g_w$ , проходящей через поверхность ограждающей конструкции, от продолжительности косого дождя  $\tau$  и его средней плотности  $g_p$

Из этого рисунка следует, что при высокой плотности потока косого дождя  $g_p$ , приводящего к образованию поверхностной пленки воды, плотность потока влаги  $g_w$  полностью определяется впитывающей способностью материала поверхностного слоя ограждения, характеризуемой плотностью потока влаги  $g_{wmax}$ . При значении  $g_p$  меньшем  $g_{wmax}$  и  $g_p$  поток впитываемой влаги  $g_w = g_p$ . Это равенство сохраняется до момента, при котором кривая  $g_{wmax}$  пересекает прямую  $g_w = g_p$ . После этого момента  $g_w = g_{wmax}$ .

### Заключение

Рассмотрены основные модели для определения плотности потока косого дождя  $g_p$ , капли которого падают на вертикальную поверхность ограждающей конструкции. С помощью экспериментальных данных и результатов расчетов, приведенных в работе [7], установлено, что при определении горизонтальной составляющей косого дождя  $g_p$  для низких зданий с прямоугольным фасадом и плоской крышей стандартная ISO модель дает наилучшие результаты, для зданий высотой 18 м и более (типа башни) – наихудшие. Для последних зданий наилучшие результаты демонстрирует CFD модель.

Разработана методика определения потока влаги  $g_w$ , впитываемой вертикальной поверхностью ограждения, которая учитывает горизонтальную составляющую косого дождя  $g_p$ , коэффициент сорбции воды  $A$ , текущую влажность материала и его влажность в состоянии капиллярного водонасыщения. Значение  $g_w$  является граничным условием на поверхности, которое необходимо для инициирования расчета нестационарного переноса влаги в капиллярно-пористых материалах ограждающих конструкций зданий при косом дожде.

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Witczak, K. Wplyw zacinajacego deszczu na stan wilgotnosciowy przegród budowlanych w Polsce / K. Witczak, H.M. Kunzel, D. Gawin // XLIX Konferencja Naukowa Komitetu Inzynierii Ladowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB «Krynica 2003», Warszawa-Krynica, 14-19 wrzesnia 2003 r.: t. IV / Politechnika Warszawska. – Warszawa. – 2003. – T. IV. – S. 99–106.
2. Blocken, B.J.E. A review of wind-driven rain research in building science / B.J.E. Blocken, J.E. Carmeliet // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2004. – № 92(13). – P. 1079–1130.
3. Кофанов, В.А. Влияние атмосферных осадков и параметров влагопереноса материала ограждающих конструкций на их влагосодержание / В.А. Кофанов, В.И. Никитин // Вестник БГТУ. Стрво и арх. – Приложение: материалы XI Междунар. науч.-методич. межвузов. семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», Брест, 25-27 ноября 2004: в 2 ч. – 2004. – Ч. 2. – С. 253–256.
4. Blocken, B.J.E. On the validity of the cosine projection in wind-driven rain calculations on buildings / B.J.E. Blocken, J.E. Carmeliet // Building and Environment. – 2006. – № 41(9). – P. 1182–1189.
5. Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation: EN 15026-2007. – 01.04.2007. – European Committee for Standardization, 2007. – 28 p.
6. Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – Part 3: Calculation of a driving rain index for vertical surfaces from hourly wind and rain data.: EN ISO 15927-3:2009. – 30.11.2009. – International Organization for Standardization, 2009. – 17 p.
7. Intercomparison of wind-driven rain deposition models based on two case studies with full-scale measurements / B.J.E. Blocken [et al.] // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2011. – № 99(4). – P. 448–459.
8. Dingle, A.N. Terminal fall speeds of raindrops / A.N. Dingle, Y. Lee // Journal of Applied Meteorology. – 1972. – № 11. – P. 877–879.
9. Кутателадзе, С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С. Кутателадзе, М.А. Стырикович. – М.: Энергия, 1976. – 296 с.

10. Janz, M. Methods of measuring the moisture diffusivity at high moisture levels / M. Janz. – Lund: Division of Building Materials. – Report TVBM-3076. – 1997. – 76 p.
11. Nikitsin, V. Wpływ parametrów procesu wypalania na wskaźniki podciągania kapilarnego wody w tworzywach ceramicznych / V. Nikitsin, B. Backiel-Brzozowska, M. Boltryk // Ceramika/Ceramics. – 2005. – Vol. 91. № 2. – S. 587–592.
12. Никитин, В.И. Влияние анизотропии изделий строительной керамики на показатели капиллярного влагопереноса / В.И. Никитин, В.А. Кофанов // Вестник БрГТУ. – 2012. – № 1: Стр-во и арх-ра. – С. 132–136.

Материал поступил в редакцию 07.02.13

**NIKITIN V.I., KOFANOV V.A. On consider of driving rain and capillary properties of materials when assessing moisture enclosing structures**

Reviewed and analyzed the basic model to determine the liquid flux density falling on a vertical surface enclosing structure at wind-driven rain. Proposed a method for determining the liquid flux density absorbs vertical surface enclosing structure under the influence wind-driven rain.

УДК 69:658.7

**Кисель Е.И., Хутова Е.Н.**

## СОВРЕМЕННЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

**Введение.** Процесс материально-технического обеспечения (далее МТО) в значительной мере влияет на ритмичность строительных процессов. В первую очередь эффективная организация распределения средств производства оказывает влияние на себестоимость, продолжительность строительства и производительность труда. В условиях роста конкуренции необходимо вносить изменения в процессы снабжения строительных организаций.

Строительные организации, выполняющие работы по генеральным и субподрядным договорам, а также организации-заказчики стали осуществлять организацию снабжения строительного производства всеми видами материально-технических ресурсов в соответствии с технологической последовательностью выполнения СМР, проектно-сметной документацией. Рынок этих ресурсов в настоящее время отличается достаточным насыщением, что является основой для решения таких задач, как заключение долгосрочных договоров с прямыми поставщиками на основе анализа их надежности, оптимальное распределение ресурсов между строящимися объектами, оптимальное управление перемещением материальных ресурсов от поставщиков к предприятию или напрямую к строительным площадкам, оптимальное управление периодичностью поставок, своевременный контроллинг негативно действующих на снабжение факторов внешней и внутренней среды, планирование поставок в соответствии с предстоящими объемами строительно-монтажных работ и транзакционными издержками.

### Оптимизация системы закупок на основе анализа зрелости.

Организационная перестройка системы закупок должна основываться на результатах анализа зрелости закупок организации. Возможно выделение нескольких уровней, выявим особенности каждого уровня (таблица 1).

Для белорусских строительных организаций характерно преобладание первого или второго уровня с перспективами развития. В МТО внимание уделяется в основном централизации закупок и минимизации цен, очень редко управлению рисками. Информационное обеспечение закупок и управление договорами слабое.

Кроме того, строительство любого объекта должно быть обеспечено широкой номенклатурой сырья, материалов, полуфабрикатов, конструкций, технологического оборудования и т.д. Их число может доходить до тысячи наименований, поэтому следует учитывать группировку номенклатуры материальных ресурсов строительного назначения по ряду признаков:

#### 1. По назначению в производственно-технологическом процессе.

Сырье (для производства материальных и энергетических ресурсов) – сырые материалы, которые в процессе производства об-

разуют основу полуфабриката или готового продукта (камень, песок, глина и т.д.).

Материалы (для основного и вспомогательного производства) – основа для производства полуфабрикатов, комплектующих изделий, продукции.

Полуфабрикаты (для дальнейшей обработки); комплектующие изделия (для изготовления конечного продукта); готовая продукция (для обеспечения потребителей).

#### 2. По статьям учета в производстве.

Основные материалы – все материалы, вещественно входящие в конструкции зданий и сооружений, в том числе санитарно-техническое оборудование.

Конструкции и детали – сборные и железобетонные, деревянные, металлические, асбестоцементные и другие конструкции, сборные здания и сооружения, трубы из различных материалов, рельсы, шпалы, сборные элементы для санитарно-технических работ и т.п.

Прочие материалы – тара неинвентарная, запасные части, топливо, материалы хозяйственного обслуживания, вспомогательные материалы.

Материалы попутной добычи – щебень, песок, лесоматериалы, получаемые при производстве вскрышных работ в карьерах, при прокладке трасс для высоковольтных линий на лесных участках, очистке территории в зоне затопления и т.п.

#### 3. По источникам поступления.

Материальные ресурсы местных поставщиков по прямым хозяйственным связям характерны для поставки песка, щебня, камня, продукции предприятий промышленности строительных материалов, территориально приближенных к строительным организациям.

Ресурсы собственного производства, поступающие с предприятий, входящих в состав строительной организации (ж/б изделия, конструкции, пиломатериалы).

Материальные ресурсы, требующие накопления, доработки, сортировки и т.п., поставляемые через оптовых посредников.

Продукция предприятий стройиндустрии, являющихся внешними поставщиками.

#### 4. По целевому использованию:

- для изготовления несущих и ограждающих конструкций и деталей;
- для устройства покрытий, изолирующих и защищающих от проникновения влаги, газов, звука, коррозии, гниения, возгорания и т.п.;
- для устройства конструкций, деталей и покрытий, обеспечивающих бытовые удобства и комфортные условия в помещениях жилых, общественных и производственных зданий и сооружений (устройство санитарно- и инженерно-технических систем);

**Кисель Елена Ивановна**, кандидат технических наук, зав. кафедрой экономики и организации строительства Брестского государственного технического университета.

**Хутова Елена Николаевна**, доцент кафедры мировой экономики, маркетинга, инвестиций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.