

Черноиван А.В., Жук В.В., Черноиван Н.В.

К ВЫБОРУ РАСЧЕТНОГО СОЧЕТАНИЯ НАГРУЗОК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СКАТНЫХ КРЫШ

Введение. За последнюю пятилетку можно отметить устойчивый рост объема возведения скатных крыш как при реконструкции зданий до 5-ти этажей, так и при возведении новых многоэтажных зданий до 9-ти этажей. Основным конструктивным решением возводимых скатных крыш являются кровли из металлочерепицы с уклонами от 20° до 60°. При выборе уклона кровли архитекторы, как правило, руководствуются функциональным назначением чердачного помещения, а конструкторы-проектировщики – величиной снеговой и ветровой нагрузок, действующих на поверхность крыши.

Основной целью настоящей статьи является разработка предложений по выбору расчетного сочетания воздействий при проектировании скатных крыш с кровлей из металлочерепицы с учетом введенных в действие с начала 2010 года на территории Республики Беларусь нормативных документов [2, 3, 4].

До введения в действие системы европейских нормативных документов в качестве национальных технических нормативно-правовых актов, расчет несущих элементов стропильной системы, как правило, выполнялся на сочетание воздействий, включающее постоянную (собственный вес конструкции крыши) и временную (снеговую) нагрузки. Данный подход объясняется тем, что скатные крыши массово применялись для малоэтажных зданий, т.е. на небольших высотах над поверхностью земли, где ветровая нагрузка значительно меньше снеговой и, очевидно, не оказывает существенного влияния, а при определенных условиях и «разгружает» несущую конструкцию [7, 8, 9, 10, 11].

Согласно [1, 2] расчет конструкций скатных крыш по предельным состояниям несущей способности необходимо выполнять в соответствии со следующими правилами сочетания воздействий – случай В: менее благоприятный результат из следующих двух выражений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}, \end{array} \right. \quad (1a/1б)$$

где «+» – «следует сочетать»;

\sum – «применяется совместно с»;

$G_{k,j}$ – нормативное значение постоянного воздействия j ;

$Q_{k,1}$ – нормативное значение определяющего переменного воздействия 1 (доминирующее воздействие);

$Q_{k,i}$ – нормативное значение не определяющего переменного воздействия i , (сопроводительное воздействие);

$\gamma_{G,j}$ – частный коэффициент безопасности для постоянного воздействия G_j (табл. А.1.2 [2]);

$\gamma_{Q,i}$ – частный коэффициент безопасности для переменного воздействия Q_i (табл. А.1.2 [2]);

$\Psi_{0,i}$ – коэффициент для общих значений переменного воздействия i (табл. А.1.1 [2]);

ξ_j – понижающий коэффициент для неблагоприятного постоянного воздействия G_j (табл. А.1.2 [2]).

Выбор менее благоприятного результата из выражений (1a/1б) осуществляется с помощью графиков (рис. 8 [6]), иллюстрирующих

величину χ , характеризующую отношение доли переменных воздействий к полной величине воздействия:

$$\chi = \frac{\sum Q_k}{\sum G_k + \sum Q_k}. \quad (2)$$

Принимая в качестве постоянного воздействия собственный вес конструкции крыши, а в качестве переменного воздействия снеговую и ветровую нагрузки, при эксплуатации скатной крыши возможны следующие основные сочетания воздействий для:

• выражения (1a):

1) собственный вес (неблагоприятное воздействие), снеговая нагрузка (сопутствующее неблагоприятное воздействие) и ветровое воздействие (сопутствующее благоприятное воздействие);

2) собственный вес (неблагоприятное воздействие), снеговая нагрузка (сопутствующее неблагоприятное воздействие) и ветровое воздействие (сопутствующее неблагоприятное воздействие);

3) собственный вес (благоприятное воздействие), ветровое воздействие (сопутствующее неблагоприятное воздействие);

• выражения (1б):

1) собственный вес (неблагоприятное воздействие), снеговая нагрузка (доминирующее неблагоприятное воздействие) и ветровое воздействие (сопутствующее благоприятное воздействие);

2) собственный вес (неблагоприятное воздействие), снеговая нагрузка (доминирующее неблагоприятное воздействие) и ветровое воздействие (сопутствующее неблагоприятное воздействие);

3) собственный вес (неблагоприятное воздействие), ветровое воздействие (доминирующее неблагоприятное воздействие) и снеговая нагрузка (сопутствующее неблагоприятное воздействие);

4) собственный вес (благоприятное воздействие), ветровое воздействие (доминирующее неблагоприятное воздействие).

Основные положения методики расчета несущих элементов скатной крыши. В качестве базовой несущей конструкции скатной крыши для расчетов были приняты наслонные стропила. Наслонные стропила при правильном их конструировании и устройстве являются безраспорной конструкцией.

В расчетном отношении стропильная нога представляет собой однопролетную балку при свободном опирании ее на двух опорах, или двухпролетную неразрезную балку при наличии дополнительной опоры в виде подкоса или верхнего прогона подстропильной рамы.

Расчет стропильной ноги выполняется по предельным состояниям несущей способности: на прочность при действии максимального изгибающего момента, и эксплуатационной пригодности – на жесткость при действии нормативной нагрузки.

Нагрузки на стропильную ногу собираются с грузовой площади, ширина которой равна шагу расстановки стропил.

Постоянная нагрузка. Нормативное значение собственного веса конструкции принимается по номинальным размерам и средней плотности материалов, из которых они изготовлены.

Снеговая нагрузка. Согласно [3] снеговые нагрузки на покрытия для основных расчетных ситуаций следует определять по формуле:

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k, \quad (3)$$

Черноиван Анна Вячеславовна, магистр технических наук, аспирант кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Жук Василий Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Черноиван Николай Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

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

Строительство и архитектура

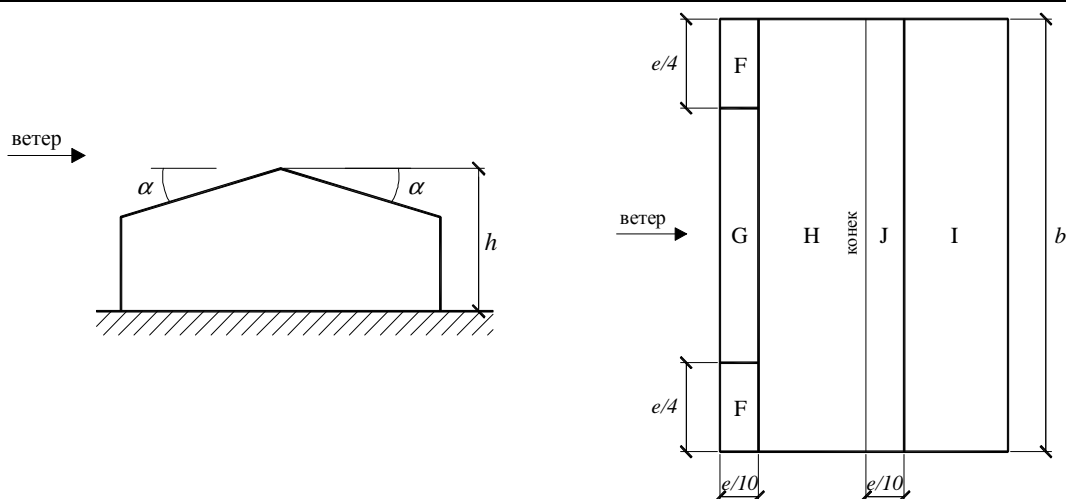


Рис. 1. Схемы распределения ветрового давления для двускатных покрытий

Таблица 1. Значения аэродинамического коэффициента внешнего давления для двускатных покрытий

Угол уклона α	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,7		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	

где $C_{pe,1}$ – коэффициент, используемый при проектировании элементов ограждения и узлов крепления, площадь которых не превышает 1 м²; $C_{pe,10}$ – коэффициент, применяемый при расчете несущих конструкций зданий и сооружений. Если площадь элемента A находится в пределах $1 \text{ м}^2 < A < 10 \text{ м}^2$, значения аэродинамического коэффициента C_{pe} определяется интерполяцией согласно п. 7.2.1 [4]

где μ_i – коэффициент формы снеговых нагрузок;

C_e – коэффициент окружающей среды (табл. НП.2 [3]);

C_t – температурный коэффициент (НП [3]);

S_k – характеристическое значение снеговых нагрузок на грунт.

Значение коэффициента μ_i для двускатных покрытий составляет $\mu = 0,8$ при $\alpha \leq 30^\circ$, $\mu = 0,8 \cdot (60 - \alpha)/30$ при $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ и $\mu = 0$ при $\alpha \geq 60^\circ$ (табл. 5.2. [3]).

Ветровое воздействие. Ветровые усилия $F_{w,e}$, действующие на внешнюю (наружную) поверхность конструкции согласно [4] следует определять:

$$F_{w,e} = C_s C_d \cdot \sum_{\text{поверхность}} w_e \cdot A_{ref}, \quad (4)$$

где $C_s C_d$ – конструкционный коэффициент (п. 6 [4]);

w_e – внешнее (наружное) ветровое давление на отдельную поверхность на базовой высоте Z_e , определяемое по выражению:

$$w_e = q_p(Z_e) \cdot C_{pe}, \quad (5)$$

где $q_p(Z_e)$ – пиковое значение скоростного напора ветра на высоте Z_e (п. 4.5 [4]);

C_{pe} – аэродинамический коэффициент внешнего давления (п. 7 [4]);

A_{ref} – базовая площадь отдельной поверхности конструкции.

Распределение ветрового давления для двускатных покрытий, принятое в [4], где e принимается меньшим из значений b или $2 \cdot h$, приведено на рисунке 1.

Следует отметить, что для уклона кровли от $5^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$ происходит быстрое изменение давления от положительных значений к отрицательным, поэтому аэродинамический коэффициент внешнего давления может принимать как положительные, так и отрицательные значения (табл. 1). Для таких покрытий необходимо

учитывать четыре случая, при которых комбинируются соответственно наименьшие или наибольшие значения для зон F , G и H с наименьшим или наибольшим значениями зон I и J (см. рис. 1). Сочетание положительных и отрицательных значений на одной и той же поверхности покрытия при расчетах не допускается.

Оценка влияния ветровых воздействий на величину усилий в элементах стропил. Влияние ветровых воздействий оценивалось на примере расчета двускатных наслонных стропил для кровли из металлочерепицы с постоянной нагрузкой на 1 пог. м горизонтальной проекции стропильной ноги $G_{\text{собств.вес}} = 0,410 \text{ кН/м}$. Расчетная схема стропильной рамы приведена на рисунке 2.

Расчеты были выполнены для семи сочетаний снеговых и ветровых воздействий, соответствующих климатическим условиям Республики Беларусь, для III типа местности (табл. 4.1 [4]) для пятиэтажного здания (отметка низа стропильной системы 15 м).

Согласно выполненным расчетам χ (2), менее благоприятный результат сочетания воздействий будет получен при использовании выражения (16).

В связи с этим, при выполнении сравнительного анализа влияния ветровых воздействий на величину усилий в элементах стропил были рассмотрены следующие варианты:

а) четыре сочетания воздействий, которые имеют место при эксплуатации скатной крыши:

- $0,85 \cdot 1,35 \cdot G_{\text{собствен.вес}} + "1,5 \cdot Q_{\text{снег}} ;$
- $0,85 \cdot 1,35 \cdot G_{\text{собствен.вес}} + "1,5 \cdot Q_{\text{снег}} + "1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{\text{ветр.}} (C_{pe} > 0) ;$
- $0,85 \cdot 1,35 \cdot G_{\text{собствен.вес}} + "1,5 \cdot Q_{\text{ветр.}} (C_{pe} > 0) + "1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{\text{снег}} ;$
- $1,0 \cdot G_{\text{собствен.вес}} + "1,5 \cdot Q_{\text{ветр.}} (C_{pe} < 0) ,$

где $G_{\text{собств.вес}}$ – собственный вес крыши;

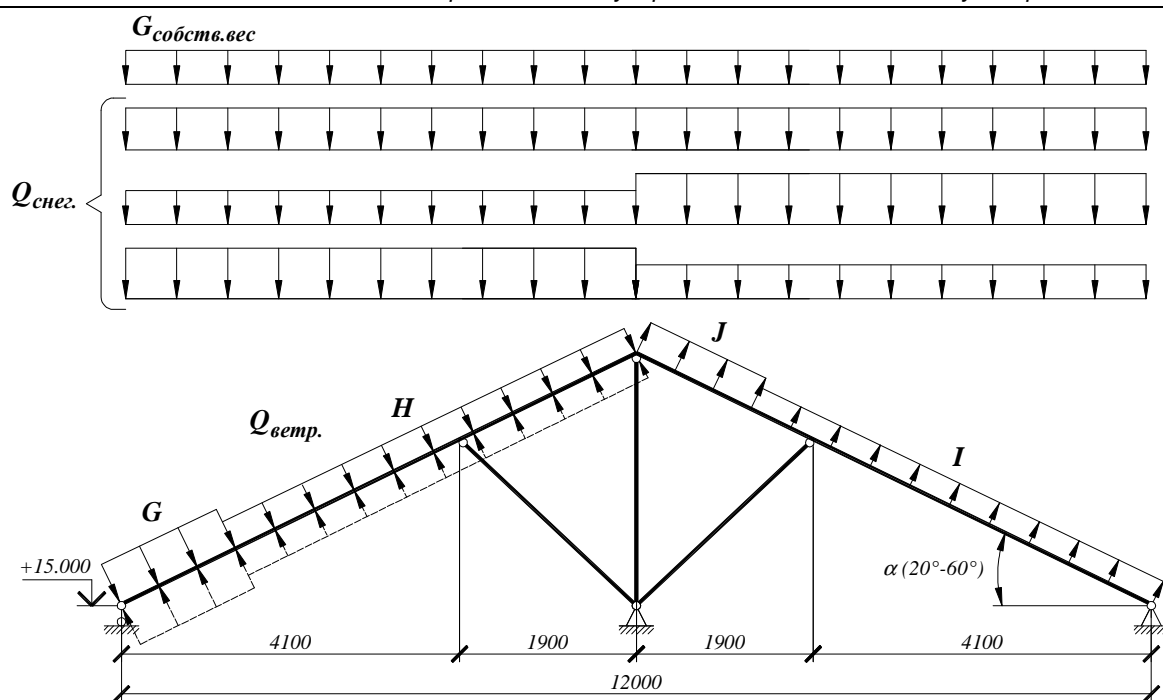


Рис. 2. Расчетная схема стропильной рамы

$Q_{снeг.}$ – снеговая нагрузка;

$Q_{ветр.}$ – ветровое воздействие.

б) угол уклона кровли: 20°, 30°, 35°, 40°, 50°, 55°, 60°.

Расчеты по определению величины усилий в элементах стропил были выполнены в проектно-вычислительном комплексе SCAD. По результатам выполненных расчетов построены графики зависимости изгибающего момента M_{max} (рис. 3) и вертикальной составляющей опорной реакции R (рис. 4) от варьируемых величин.

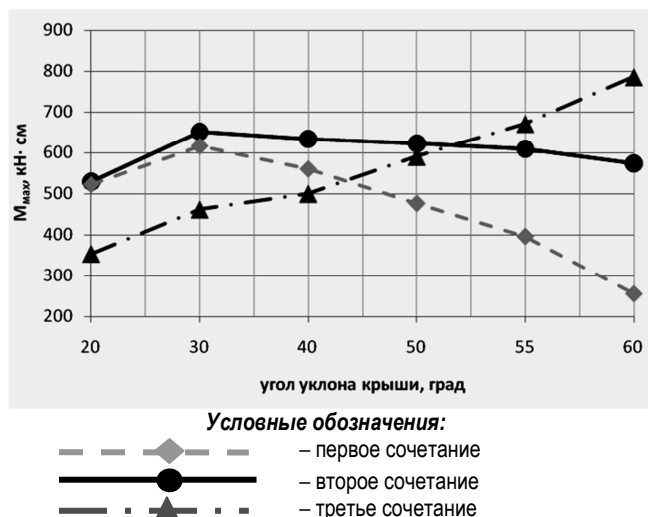


Рис. 3. График зависимости максимального изгибающего момента M_{max} от угла уклона крыши для $S_k = 1,40$ кПа (район II) и $V_{b,0} = 24$ м/с (район II)

Заключение. По результатам выполненных расчетов можно сделать следующие выводы.

1. Расчет несущих элементов стропильных конструкций скатных крыш с отметкой низа стропильной системы 15 м и выше с кровлей из металлочерепицы рекомендуется выполнять:

- при угле кровли $\alpha < 50^\circ$ – на второе сочетание воздействий – собственный вес (неблагоприятное воздействие), снеговая нагрузка (доминирующее неблагоприятное воздействие) и ветровое воздействие (сопутствующее неблагоприятное воздействие);

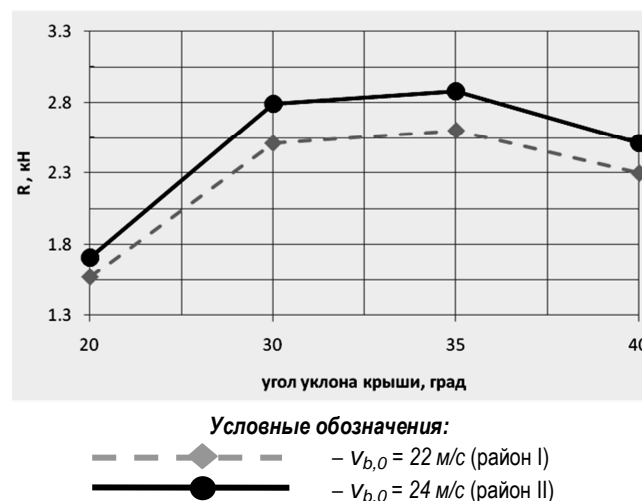


Рис. 4. График зависимости вертикальной составляющей опорной реакции R в стропильной ноге от угла уклона крыши для четвертого сочетания

- при угле кровли $\alpha \geq 50^\circ$ – на третье сочетание – собственный вес (неблагоприятное воздействие), ветровое воздействие (доминирующее неблагоприятное воздействие) и снеговая нагрузка (сопутствующее неблагоприятное воздействие).

2. Расчетами установлено, что при воздействии на скатную крышу 5-этажных зданий и выше с легкой кровлей четвертого сочетания нагрузок – собственный вес (благоприятное воздействие), ветровое воздействие (доминирующее неблагоприятное воздействие) – в опорных узлах стропильных ног возникают вертикальные усилия (см. рис. 4), которые могут привести к «отрыву» элементов крыши от здания. Наибольшие значения вертикальной составляющей опорной реакции R возникают на скатах кровли при угле кровли в интервале от 30° до 40°. В связи с этим рекомендуется при данных уклонах крыши выполнять расчет элементов ската кровли на вертикальные составляющие опорной реакции R .

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций: СТБ ЕН 1990-2007. – Введ. 01.01.2008. – Мн.: Минстройархитект. РБ, 2007. – 56 с.
2. Изменение №2 СТБ ЕН 1990-2007. Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций. – Введ. 01.02.2010. – Мн.: Минстройархитект. РБ, 2009. – 5 с.
3. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки: ТКП ЕН 1991-1-3-2009. – Введ. 01.01.2010. – Мн.: Минстройархитект. РБ, 2010. – 40 с.
4. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–4. Общие воздействия. Ветровые воздействия: ТКП ЕН 1991-1-4-2009. – Введ. 01.01.2010. – Мн.: Минстройархитект. РБ, 2010. – 118 с.
5. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.05-146-2009. – Введ. 01.01.2010. – Мн.: Минстройархитект. РБ, 2009. – 63 с.
6. Тур, В.В. Основы проектирования строительных конструкций в соответствии с ТКП ЕН 1990:2002 / В.В. Тур, Д.М. Марковский // Строительная наука и техника. – 2010. – № 3. – С. 13–31.
7. Жук, В.В. Оценка влияния ветровой нагрузки на напряженное состояние стропильных систем / В.В. Жук, Н.В. Черноиван, А.В. Черноиван // Сборник конкурсных научных работ студентов и магистрантов: в 2 ч. / УО «Брестский государственный технический университет». – Брест, 2009. – Ч. 1. – С. 155–159.
8. Шишкин, В.Е. Примеры расчета конструкций из дерева и пластмасс / В.Е. Шишкин / Учебное пособие для техникумов. – М.: Стройиздат, 1974. – 219 с.
9. Бойтемиров, Ф.А. Расчет конструкций из дерева и пластмасс: учебное пособие для студ. вузов / Ф.А. Бойтемиров, В.М. Головина, Э.М. Улицкая; под ред. Ф.А. Бойтемирова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 160 с.
10. Руководство по проектированию клееных деревянных конструкций. – М.: Стройиздат, 1977. – 189 с.
11. Конструкции из дерева и пластмасс: Учеб. для техн. вузов / Д.К. Арленинов [и др.]; под общ. ред. Д.К. Арленинова. – М.: Издательство АСВ, 2002. – 280 с.

Материал поступил в редакцию 05.01.11

CHERNOIVAN A.V., GHUK V.V., CHERNOIVAN N.V. To choice of design combination of actions at designing pitched roofs

In article present results of choice of design combination of actions at designing pitched roofs.

On the basis of the executed calculations designing recommendations of rafters of double-pitch roof are given.

УДК 691.544: 666.941.2

Лукашевич М.В., Филимонова Н.В.

ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ АГРЕССИВНЫХ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ СРЕД НА КОРРОЗИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Введение. В настоящее время во всем мире проблема коррозии бетонных и железобетонных конструкций под воздействием агрессивных сред приобретает особую актуальность, так как состояние и технические характеристики таких конструкций крайне необходимы для производительности общества. Многие здания и сооружения должны эксплуатироваться в течение 100 лет и более. Однако на практике в результате неточного проектирования, неправильного подобранных материалов, ошибок в выборе количественного состава, реализации технологического процесса эксплуатационные характеристики могут ухудшаться. В большинстве стран огромные расходы приходится на ремонтные работы, технический уход и восстановление существующих конструкций. Большая часть этих расходов вызвана проблемами, связанными с их недостаточной прочностью и недолговечностью.

Невысокая прочность, недолговечность и преждевременное окончание срока эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций инициируют не только технические и экономические проблемы, но также оказывают негативное влияние на окружающую среду и безопасность человека [1].

Коррозионные повреждения железобетонных конструкций под действием хлорид-ионов. Агрессивные среды в зависимости от их свойств и условий действуют на строительные конструкции весьма разнообразно. Анализ большого экспериментального материала и результатов исследований сооружений, подвергавшихся действию различных агрессивных сред, позволил В.М. Москвину выделить три основных вида коррозии бетона [2].

К первому виду могут быть отнесены все процессы коррозии, которые возникают в бетоне при действии жидких сред (водных растворов), способных растворять компоненты цементного камня. Составные

части цементного камня растворяются и выносятся из структуры бетона. Особенно интенсивно эти процессы могут протекать при фильтрации воды через толщу бетона. Если в воде содержатся соли, не реагирующие непосредственно с составными частями цементного камня, они могут повысить растворимость гидратированных минералов цементного камня вследствие повышения ионной силы раствора.

Ко второму виду коррозии можно отнести процессы, при которых происходят химические взаимодействия – обменные реакции – между компонентами цементного камня и раствора, содержащего химическое вещество. При этом, чем энергичнее протекает процесс реакции взаимодействия и чем более растворимы новообразования, тем скорее и полнее разрушается бетон [3, 4]. Разрушения начинаются с поверхности. Образующиеся продукты реакции или легкорастворимые соединения выносятся из структуры в результате диффузии или фильтрационным потоком или отлагаются в виде аморфной массы, не обладающей вяжущими свойствами и не влияющей на дальнейший разрушительный процесс. Такой вид коррозии представляют процессы, возникающие при действии на бетон растворов кислот и некоторых солей.

Третий вид коррозии включает процессы, при развитии которых происходят накопление и кристаллизация малорастворимых продуктов реакции с увеличением объема твердой фазы или веществ, способных при фазовых переходах, полимеризации и тому подобных процессах увеличивать объем твердой фазы в порах бетона. Кристаллизация и другие вторичные процессы, развивающиеся в бетоне, создают внутренние напряжения, которые могут привести к повреждению структуры бетона [2, 4].

При коррозии третьего вида при накоплении солей в порах и капиллярах бетона на начальных стадиях бетон уплотняется. Если этот процесс протекает медленно, то в первый период создается

Лукашевич Марина Витальевна, аспирант кафедры технологии бетона и строительных материалов второго года заочной формы обучения Брестского государственного технического университета.

Филимонова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

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