

задании материалов и статистическая изменчивость свойств материалов). Поэтому при прочих неизменяемых параметрах оценка может быть сведена к оценке величины предельной нагрузки P_y . При изучении влияния принятой эквивалентной длины пластического шарнира ошибку в описании свойств материалов необходимо свести к минимуму, тогда энергетический подход позволяет правильно оценивать и интерпретировать полученные результаты.

При анализе экспериментальных данных различных авторов была выявлена проблема нехватки полной информации о проведенных экспериментах, что в свою очередь может и привести к неопределенности при исследовании ошибки моделирования (часто не указана прочность бетона в день испытания элементов и т. п.). Для определения ошибки моделирования для различных вычислительных комплексов при выполнении нелинейных расчетов необходимо обладать достоверными экспериментальными данными, содержащими различные статически неопределимые конструктивные системы.

Заключение. Выполненные численные исследования показали, что среди проанализированных зависимостей для вычисления эквивалентной длины пластического шарнира, предложенная в работе Panagiotakos and Fardis [5], дает наилучшую сходимость результатов на фоне экспериментальных данных при выполнении нелинейного расчета и может быть использована в дальнейших исследованиях ошибки моделирования нелинейных расчетов.

Описанный в статье подход к назначению критерия оценки может быть применен при определении ошибки моделирования, принимая во внимание то обстоятельство, что эквивалентную длину пластического шарнира следует рассматривать как базисную переменную расчетной модели. Следует рассмотреть возможность создания дополнительной расчетной процедуры для определения близкой к физической длины

пластического шарнира, опираясь на положения блочной модели сопротивления железобетона с трещинами.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Sawyer, H. Design of concrete frames for two failure states / H. Sawyer // Proc., Int. Symp. on the Flexural Mechanics of Reinforced Concrete, ASCE-ACI. – 1964. – P. 405–431.
2. Corley, W. Rotational capacity of reinforced concrete beams / W. Corley // Journal of the Structural Division. – 1966. – Т. 92. – № 5. – P. 121–146.
3. Mattock, A. H. Discussion of "Rotation Capacity of Reinforced Concrete Beams" / A. H. Mattock, W. G. Corley // Journal of Structural Division ASCE. – 1967. – Vol. 93. – P. 519–522.
4. Priestley, M. J. N. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings / M. J. N. Priestley, T. Paulay. – New York: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
5. Panagiotakos, T. B. Deformations of reinforced concrete members at yielding and ultimate / T. B. Panagiotakos, M. N. Fardis // Structural Journal. – 2001. – Vol. 98, № 2. – P. 135–148.
6. SAP 2000 v. 14.0 "Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-Dimensional Structures", Computers and Structures, Inc., Berkley, California, USA, June, 2009.
7. Lew, H. S. Experimental Study of Reinforced Concrete Assemblies under Column Removal Scenario / H. S. Lew, Y. Bao, S. Pujol, M. A. Sozen // ACI Structural Journal. – 2014. – Vol. 111. – № 4.
8. Mahmoud, M. H. Moment Redistribution and Ductility of RC Continuous Beams Strengthened with CFRP Strips / M. H. Mahmoud, H. Afefy // International Journal of Civil Engineering Research, ISSN. – 2012. – P. 2278–3652.

Материал поступил в редакцию 15.04.2019

LIZAHUB A. A., TUR A. V. Application of Energy Saving approach to the Estimation of the Effect of the Equivalent length of the plastic hinge on the results of Non-Linear analysis of reinforced concrete Structures

One of the most important step of the non-linear analysis of reinforced concrete structure (using modern computational software systems) is to assign the characteristics of plastic hinges and the rules for their insertion into the elements of the structural system. One of the main assigned characteristics of a plastic hinge is its length. There are a number of empirical relationship for determining the equivalent plastic hinge length l_p proposed by various authors. It should be noted that in their application there are different results for the calculation of the same structural elements. Therefore, the purpose of this article is to determine the model that gives the result with the smallest uncertainty of the simulation comparison with experimental data. The paper proposed an evaluation criterion based on the energy approach and comparison of the potential energies of the system, obtained during the experiment and obtained by calculation.

УДК 692.21

Деркач В. Н.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАМЕННЫХ И АРМОКАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Введение. Проектирование каменных зданий в Республике Беларусь с 1961 г. осуществлялось в соответствии со СНиП II-22-81, которые обновлялись с периодичностью 10 лет. Последняя редакция указанных норм, действовавшая в Республике Беларусь до 2018 г., была обновлена в 1981 г. Данные нормы были ориентированы на технологии возведения каменных конструкций 50-60-х годов прошлого столетия, для которых характерными являлись сплошные массивные кладки на известково-цементных растворах. В середине 1990 х гг. в Республике Беларусь были ужесточены требования по энергосбережению в зданиях. Чтобы обеспечить требуемое сопротивление теплопередаче, толщина наружных стен из кирпичной кладки должна была бы составлять не менее 510–640 мм, а более 1,5 м. Это потребовало применения вместо массивных кирпичных однослойных стен, стен из эффективных кладочных материалов: ячеистобетонных или керамзитобетонных блоков, поризованной керамики. Такие стены могли возводиться, как однослойными, так и многослойными с размещением между слоями эффективного утеплителя. Каменная кладка стен из эффективных кладочных матери-

алов возводятся, как правило, на тонкослойных растворных швах. Благодаря этому уменьшаются мостики холода, которыми являются растворные швы, снижается расход раствора, увеличивается производительность труда, а прочность кладки на сжатие возрастает. В то же время приведенные в СНиП II-22-81 данные об деформационных и прочностных характеристиках каменных кладок были получены для кладок первой половины двадцатого века, отличающихся более деформативным кирпичом, применением известковых, глиняных и цементно-известковых растворов. Для кладок из современных кладочных материалов, включая кладки на тонкослойных растворах, эти данные в нормах отсутствуют или носят ограниченный характер. В современных каменных зданиях высотой девять и более этажей, с широким шагом поперечных несущих стен, средний уровень вертикальных сжимающих напряжений увеличился в 2-3 раза по сравнению со зданиями высотой до семи этажей, на которые в основном были ориентированы СНиП II-22-81. При этом более существенно проявляются касательные и растягивающие напряжения, вызванные разной нагруженностью стен. С ростом количества этажей увеличи-

Деркач Валерий Николаевич, д. т. н., директор филиала РУП «Институт БелНИИС» – Научно-технический центр.
Беларусь, 224023, г. Брест, ул. Московская, 267/2.

ваются силы трения и защемления опор железобетонных элементов, заделанных в стены здания. В этом случае на несущие стены в узлах их сопряжения с перекрытиями передаются сжимающие усилия и изгибающие моменты, возникающие в плитах перекрытий, что требует применения при проектировании отличных от СНиП II-22-81 моделей для расчета эффектов воздействий и сопротивлений каменных конструкций. Следует отметить, что требования СНиП II-22-81 вступают в противоречие с общепринятой практикой проектирования многоэтажных зданий с монолитным железобетонным каркасом. Согласно указанным нормативным документам проектирование элементов каменных конструкций, работающих на изгиб по неперевязанному сечению, не допускается. В то же время поэтажно опертое наружное стеновое ограждение каркасных зданий воспринимает ветровую нагрузку, которая вызывает в нем появление растягивающих напряжений, как по перевязанному, так и по неперевязанному сечению. СНиП II-22-81 не позволяет корректно применять современные вычислительные комплексы для расчетов каменных и армокаменных конструкций, без которых не обходятся современные технологии проектирования строительных объектов.

Эксплуатация возведенных зданий с применением новых видов каменных кладок уже в первые 3-5 лет выявила ряд серьезных недостатков, которые во многих случаях приводили к аварийному состоянию стенового ограждения [1-3]. При этом, по мнению ведущих специалистов, основной причиной аварийности зданий, построенных в середине 90-х годов, является отставание действующих норм по проектированию каменных и армокаменных конструкций от современных технических решений и технологий возведения каменных конструкций [4]. В отличие от СНГ, в странах Западной Европы с развитием новых видов кладочных материалов и каменных конструкций активно велись научные исследования, результатом которых явилось создание национальных документов по расчету и проектированию каменных и армокаменных конструкций и европейских норм Еврокод 6.

Внедрение ТКП EN 1996 на территории Республики Беларусь.

С целью приведения национальных стандартов и норм проектирования в строительстве в соответствие с международной и европейской практикой на территории Республики Беларусь с 01.01.2010 г. введены в действие нормы проектирования Европейского Союза.

В процессе внедрения Еврокодов главной задачей представителей строительного комплекса и научных работников являлась разработка национальных приложений на основе результатов научных исследований и отечественного опыта строительства. Национальные приложения содержат параметры, устанавливаемые на национальном уровне, которые могут отличаться от значений, рекомендуемых Еврокодом. В Еврокоде 6 на национальном уровне должны быть установлены 22 параметра. Важнейшими из них, требующими проведения большого объема экспериментальных исследований, являются характеристические значения прочностных и деформационных показателей каменных кладок, выполняемых с применением кладочных материалов отечественного производства. Испытания каменных кладок и кладочных материалов должны выполняться на основе европейских стандартов серии EN 1052, которые включают пять видов испытаний: на сжатие, сдвиг, растяжение при изгибе, определение прочности сцепления. Такие исследования проводились и ведутся в настоящее время в Республике Беларусь [5-11]. На основании их результатов была сформирована база данных о прочностных и деформационных показателях каменных кладок, включая кладки на тонкослойных растворных швах, разработаны национальные приложения к ТКП EN 1996-1-1, ТКП EN 1996-1-3, а также ряд рекомендаций по проектированию каменных конструкций и методов их усиления.

Опыт показал, что ключевая проблема при внедрении Еврокода 6 в практику проектирования заключается в возникающих у проектировщиков и некоторых научных работников опасениях перед изменениями нормативной базы, методов проектирования и реализации строительных объектов, что лишено всяких оснований. Внедрение ТКП EN 1996, как и остальных Еврокодов, не изменяет логики проектирования, выполнения статических расчетов и правил сопротивления материалов. Необходимость этих действий была обусловлена тем, что на современном этапе в Республике Беларусь, как и на остальном постсоветском пространстве, накопление новых знаний в строительной науке резко затормозилось по известным причинам, в то время как наука и

инновации западных стран ушли далеко вперед. Если СНиПы за последние 30 лет обновлялись крайне редко и без существенных нововведений, то Еврокоды создают предпосылки для использования самых новых мировых достижений строительной науки и дают шанс для качественных изменений в строительстве. На фоне этого консерватизм и приверженность к СНиПам некоторых специалистов не способствует нововведениям и прогрессу в отечественном строительстве, которое нередко отличается низким качеством, материалоемкостью и аварийностью. Именно Еврокоды позволяют избежать этих недостатков, поскольку в них заложены положения, позволяющие проектировать конструкции и здания на самом современном уровне.

Разработка и внедрение ТКП 45-5.03-308-2017. В 2016 г. Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь была поставлена задача о разработке национального ТНПА, устанавливающего требования к проектированию каменных и армокаменных конструкций. Указанный документ должен быть гармонизирован с Еврокодом 6, но при этом содержать специфические национальные дополнения, обусловленные сложившейся практикой проектирования и возведения каменных конструкций в Республике Беларусь. В результате был разработан технический кодекс установившейся практики ТКП 45-5.03-308-2017 «Каменные и армокаменные конструкции. Строительные нормы проектирования», который был введен в действие 1.01.2018 г. С выходом ТКП 45-5.03-308 действовавший в Республике Беларусь СНиП II-22-81 утратил силу.

Согласно ТКП 45-5.03-308 проектирование, расчет и определение расчетных параметров каменных и армокаменных конструкций выполняются в соответствии с основными правилами, указанными в ТКП EN 1990. Мониторинг продукции предприятий стройматериалов Республики Беларусь показал, что кладочные материалы, выпускаемые отечественными предприятиями, соответствуют как требованиям СТБ, так и СТБ EN. Основной прочностной характеристикой кладочных изделий, согласно СТБ, является марка М, а кладочных изделий, выпускаемых в соответствии с СТБ EN, – нормированная прочность при сжатии f_b . Марка кладочных изделий устанавливается на основании испытаний по ГОСТ 8462, а нормированная прочность по СТБ EN 772-1. По результатам проведенных исследований [11] были получены корреляционные коэффициенты, позволяющие пересчитывать прочность на сжатие кладочных изделий, полученную в соответствии с ГОСТ 8462, в нормированную прочность при сжатии f_b , которая является основной прочностной характеристикой кладочных изделий согласно ТКП 45-5.03-308. В ТКП 45-5.03-308 приводятся формулы для расчета прочностных характеристик каменных кладок, которые отличаются от принятых в Еврокоде 6. В формулах расчета прочности кладки на сжатие принимаются иные чем в Еврокоде 6 значения коэффициента К, а в формулах расчета прочности кладки при сдвиге – другие значения начальной прочности при сдвиге f_{vk0} и предельных значений прочности при сдвиге f_{vlt} . Кроме того, прочностные характеристики каменных кладок в зависимости от вида кладочных изделий и растворов и их прочностных показателей приводятся в табличной форме. В ТКП 45-5.03-308 в отличие от Еврокода 6 в табличной форме приводятся значения коэффициентов анизотропии прочности каменной кладки при сжатии и даны указания по определению значений упругих характеристик в направлении главных осей анизотропии. Даны указания по определению прочности при сжатии каменной кладки, армированной в горизонтальных растворных швах. Как известно, в Еврокоде 6 отсутствуют указания по расчету сжатых элементов каменных конструкций армированных в горизонтальных швах кладки. В ТКП 45-5.03-308 включены дополнительные требования, касающиеся возведения многослойных стен с облицовочным слоем, а также требования к долговечности применяемых кладочных материалов и вспомогательных изделий для каменной кладки.

Следует отметить, что ТКП 45-5.03-308 не устанавливает требования к конструкциям из каменной кладки с применением композитной арматуры и полиуретановой клей-пены, которые находят все большее применение в строительной практике. При этом только в Минске построено 13 жилых многоэтажных зданий стеновое заполнение которых выполнено с применением полиуретановой клей пены. Применение таких кладок позволяет в два раза увеличить производительность

труда, по сравнению с традиционными методами выполнения кладочных работ, повысить теплотехническую однородность стен, сократить затраты на транспортировку материалов, погрузочные работы и их хранение. Однако сдерживающим фактором широкого внедрения полиуретановых клеев при возведении каменных конструкций является отсутствие экспериментальных данных о их прочностных показателях, огнестойкости и долговечности и, как следствие, отсутствие нормативных документов, регламентирующих правила проектирования таких конструкций. В ТКП 45-5.03-308 нет указаний по армированию тонкослойных растворных швов, а также по применению композитных сеток для армирования каменных кладок. Для внесения указанных требований в ТНПА, требуется проведение большого объема научно-исследовательских работ. Серьезным сдерживающим фактором при проектировании каменных конструкций в соответствии с требованиями ТКП 45-5.03-308 является то, что отечественной промышленностью до сих пор не освоено выпуск вспомогательных изделий для каменной кладки в соответствии со стандартами серии СТБ EN 845, которые были введены в действие 10 лет назад.

Заключение. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года в области строительства предусматривает возведение зданий и сооружений с обязательным использованием эффективных проектов, обеспечивающих снижение стоимости строительства объектов за счет снижения затрат на всех стадиях инвестиционно-строительного цикла и сокращения потребления ресурсов. Поэтому государственная программа разработки и совершенствования национальных ТНПА в области строительства должна строиться таким образом, чтобы нормативные документы способствовали внедрению в строительную практику инновационных технологий проектирования, строительного производства, применения новых эффективных строительных материалов.

С целью совершенствования национальных ТНПА по проектированию каменных конструкций в Республике Беларусь необходимо:

1. Создать полную базу данных о прочностных и деформационных характеристиках каменных кладок, возводимых из кладочных изделий, выпускаемых отечественными предприятиями, при различном исполнении горизонтальных и вертикальных растворных швов, включая каменные кладки на тонкослойных швах и полиуретановой клей-пене.
2. Выполнить исследования долговечности полиуретановой клей-пены в сочетании с применяемыми кладочными изделиями в зависимости от классов микроусловий эксплуатации каменной кладки.
3. Выполнить исследования влияния температурных воздействий на прочностные показатели каменных кладок на полиуретановых швах, а также исследования огнестойкости и огнестойкости каменных стен на полиуретановой клей-пене в при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок.
4. Выполнить исследования и разработать методы расчета каменных стен, армированных в горизонтальных растворных швах, включая стены с применением кладок на тонкослойных растворных швах при действии сжимающих нагрузок.
5. Выполнить исследования прочностных и деформационных характеристик каменных кладок с внутренним и внешним композитным армированием и разработать методики расчета армокаменных конструкций с указанным видом армирования.
6. Наладить выпуск необходимых вспомогательных изделий для каменной кладки (анкерных связей, опорных кронштейнов, арматурных изделий для армирования горизонтальных швов камен-

ной кладки, включая стальные сетки для армирования тонкослойных растворных швов и т. д.) и выполнить исследования совместной работы указанных изделий с различными видами каменных кладок.

7. Выполнить исследования совместной работы несущих каменных стен с дисками перекрытий, в зависимости от вида применяемых каменных кладок.
8. Разработать программные комплексы, позволяющие выполнять расчет и проектирование каменных конструкций.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гроздов, В. Т. О недостатках существующих проектных решений наружных навесных стен в многоэтажных монолитных железобетонных зданиях / В. Т. Гроздов // Дефекты зданий и сооружений: сб. научн. тр. / ВИТУ. – Санкт-Петербург, 2006. – С. 15–21.
2. Ищук, М. К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки / М. К. Ищук – М. : РИФ «Стройматериалы», 2009. – 360 с.
3. Лобов, О. И. Долговечность наружных стен современных многоэтажных зданий / О. И. Лобов, А. И. Ананьев // Жилищное строительство. – 2008. – № 8. – С. 48–52.
4. Ищук, М. К. Проблемы норм по проектированию каменных конструкций / М. К. Ищук // Строительные материалы. – 2010. – № 4. – С. 2–4.
5. Деркач, В. Н. Исследования прочности каменной кладки при срезе перпендикулярно горизонтальным растворным швам / В. Н. Деркач, И. Е. Демчук // Строительная наука и техника. – 2011. – № 4(37). – С. 3–6.
6. Демчук, И. Е. Исследование прочности сцепления растворов в каменной кладке / И. Е. Демчук, В. Н. Деркач // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2012. – № 1(73) : Строительство и архитектура. – С. 71–76.
7. Галалюк, А. В. Исследования коэффициента поперечной деформации каменной кладки из керамических кладочных элементов / А. В. Галалюк, В. Н. Деркач // Проблемы современного железобетона: материалы III Междунар. симп. : сб. тр. в 2 т. – Минск : Минсктиппроект, 2011. – Т. 1 : Бетонные и железобетонные конструкции. – С. 134–140.
8. Демчук, И. Е. Прочность и деформативность при сдвиге каменных кладок из керамических кладочных элементов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. Е. Демчук // Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие по строительству "Институт БелНИИС". – Брест, 2018. – 31 с.
9. Галкин, С. Л. Применение ячеистобетонных изделий: теория и практика / С. Л. Галкин, Н. П. Сажнев. – Минск : Стринко, 2006. – 447 с.
10. Рыхленок, Ю. А. Некоторые результаты экспериментальных исследований теплофизических характеристик автоклавного ячеистого бетона низких плотностей и учет их влияния на тепло-влажностный режим наружных стен зданий / Ю. А. Рыхленок, В. В. Лешкевич, А. Б. Крутилин // Опыт производства и применения ячеистого бетона: материалы 8-й Междунар. научно-практической конф. – Минск : Стринко, 2014. – С. 66–72.
11. Деркач, В. Н. Влияние подготовки поверхности кладочного элемента на прочность при сжатии определяемую согласно EN 772-1 / В. Н. Деркач, А. В. Галалюк // Строительная наука и техника. – 2010. – № 5(32). – С. 47–50.

Материал поступил в редакцию 15.04.2019

DERKACH V. N. Improving building design standards for masonry and reinforced masonry structures in the Republic of Belarus

The article describes the development stages of building design standards for masonry and reinforced masonry structures in the Republic of Belarus. The article contains the advantages and disadvantages of the building design standards of SNiP II-22-81. It is noted that the resistance models adopted in the norms of SNiP II-22-81 do not always correspond the modern requirements for the reliability of masonry structures. The problems arising from the implementation of the Eurocode in the practice of designing masonry structures are shown. The main task of the representatives of the building complex and scientists in the implementation of Eurocodes is the development of national Annexes based on the results of scientific research and building experience. The necessity of the development of a national building design standard harmonized with the Eurocode 6 is substantiated – it is TCP 45-5.02-308. It is shown the differences TCP 45-5.02-308 from Eurocode 6. The prospects for the development of building standards for the design of masonry structures in the Republic of Belarus are outlined.