

8. Чернявський, В.В. Вплив перфорції легких сталевих тонкостінних профілів на теплофізичні характеристики огорожувальних конструкцій [Текст] / В.В. Чернявський, В.О. Семко, О.І. Юрін, Д.А. Прохоренко // Збірник наукових праць (галузеве машино-будування, будівництво). – Випуск І(29). – Полтава: ПолтНТУ. – 2011. – С.194-199.

9. Santos, P. Energy Efficiency of Light-weight Steel-framed Buildings / P. Santos, L. Simões da Silva, V. Ungureanu. - Sustainability & Eco-Efficiency of Steel Construction, №129, 2012. – 175 p.

10. Методи визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій: ДСТУ Б В.2.6-101:2010. – К. : Мінбуд. України, 2010. – 84 с.

УДК 691.32.008.6

*Снежков Д.Ю., Леонович С.Н., Энезия П.*

## **ОЦЕНКА КЛАССА ПО ПРОЧНОСТИ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА В КОНСТРУКЦИЯХ: НОРМИРОВАНИЕ, МЕТОДЫ, КРИТЕРИИ**

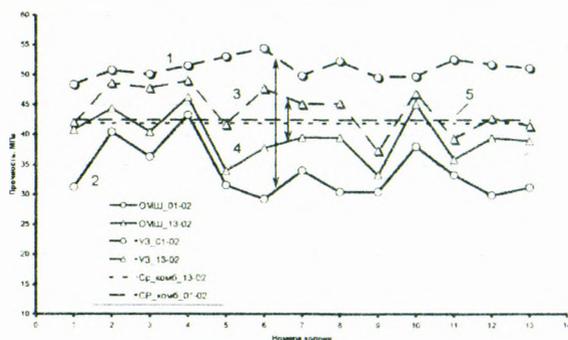
Сильной стороной неразрушающих методов испытаний бетона является возможность их многократного применения на ограниченных участках поверхности испытываемой конструкции. Это позволяет получить достаточную репрезентативность выборки для корректного применения статистических методов обработки результатов испытаний и, соответственно, - статистически обоснованную оценку класса бетона по прочности. Тем не менее, ошибки в оценках и необоснованные заключения о прочностных показателях бетона в конструкциях не являются большой редкостью в протоколах испытаний даже аккредитованных лабораторий. Одна из причин этого кроется во взаимной несогласованности действующих в Республике Беларусь нормативов, регламентирующих методы испытаний бетона в построечных условиях и критерии соответствия его проектным показателям. Это позволяет разным сторонам, вовлеченным в процесс контроля качества бетонных работ, трактовать результаты испытаний в свою пользу, не приходя к единому мнению.

Перечень основных нормативов, касающихся определения в построечных условиях прочности бетона в конструкциях и, соответственно, его класса по прочности, в настоящее время включает в себя 3 обособленные группы: национальные стандарты СНБ 5.03.01-02 [1], СТБ 2264-2012 [4], СТБ 1544-2005, а также российские ГОСТ 17624-87 [5] и действовавший до недавнего времени ГОСТ 22690-88 и практически идентичный европейскому DIN 13791-2009 [9] отечественный СТБ EN 13791-2012 [2]. Не затрагивая механизма формирования сложившейся картины с нормированием в рассматриваемой области строительства, отметим, что слабым местом «люксового» объекта являются стыки между составными частями. Ниже сделана попытка анализа взаимодействия нормативов, особенностей методик испытаний и критериев соответствия.

### *Методы контроля*

Практика неразрушающих испытаний бетона показывает, что даже строгое следование указанным в нормативах методикам построения градуировочных зависимостей совершенно не гарантирует адекватности результата неразрушающего определения прочности бетона в конструкциях, по данным прессовых испытаний изъятых из массива образцов [7, 8]. Кроме того, общеизвестным фактом является заметное несоответствие результатов определения прочности бетона разными неразрушающими методами. На рис.1 приведены данные определения прочности бетона монолитных колонн в разных условиях испытаний

методом упругого отскока и ультразвуковым методом. Разница оценок прочности ультразвуковым методом и методом упругого отскока для замороженного бетона лежит в пределах 30..45%. Колонны находились на момент испытаний в замороженном состоянии более 5 суток. Температура бетона на момент испытаний составляла  $-8^{\circ}\text{C}$ . До замораживания твердение бетона обеспечивалось применением электропрогрева в течение полутора суток сразу после укладки бетонной смеси, с последующим выдерживанием в течение 2 суток при положительной температуре без снятия опалубки. Для оттаявшего и находившегося 3 суток при температуре  $+5^{\circ}\text{C}$  бетона разница оценок прочности указанными методами снижается, но остается значительной - 12..25%. К большим отклонениям – 7..20% (см.рис.1) приводит смена условий применения и для каждого метода испытаний в отдельности. Строго говоря, приведенные на рис.1 данные испытаний нельзя считать корректными, поскольку они получены в условиях близких к граничным, установленным действующими нормативами [4, 5], хотя с формальных позиций требования по условиям применения выполняются. Напомним, что п.4.4 СТБ 2264-2012 [4] предписывает проведение механических испытаний бетона при положительной температуре, но допускает определение прочности и при температуре не ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ , при условии, что до момента испытаний соблюдались условия электропрогрева и требования по проведению зимнего бетонирования.



- 1 - оценки прочности замороженного бетона ультразвуковым методом;
- 2 - оценки прочности замороженного бетона методом упругого отскока;
- 3 - оценки прочности бетона после оттаивания ультразвуковым методом;
- 4 - оценки прочности бетона после оттаивания методом упругого отскока;
- 5 - средняя прочность бетона всей группы колонн комбинированным методом

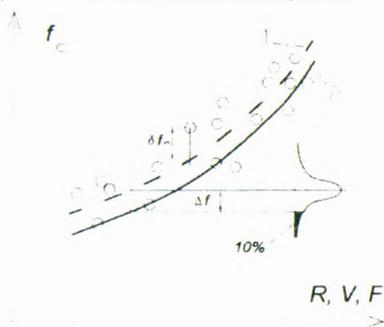
Рисунок 1 – Прочность бетона монолитных колонн по данным неразрушающих методов испытаний: проектный класс бетона по прочности С35/45

ГОСТ 17624-87 [5] (п.1.6) предписывает проводить ультразвуковые испытания при положительной температуре бетона, но допускает проводить испытания и при отрицательной температуре не ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ , при условии, что в процессе хранения конструкций относительная влажность воздуха не превышала 70%.

В связи с изложенным, вполне правомерным выглядит требование п.8.2.4 СТБ EN 13791-2012 [2] – «при прямой оценке прочности на сжатие бетона в конструкции данную (градуировочную) зависимость допускается применять только для бетона и условий, для которых данная зависимость составлена». А под условиями следует понимать не только температуру или рецептуру бетона, но и фак-

торы, являющиеся в большинстве случаев причиной брака, и которые, разумеется, никто не регистрирует: несанкционированная добавка воды, длительное состояние бетонной смеси в состоянии побуждения в «миксере», недостаточное уплотнение при укладке, высушивание поверхности бетона, раннее распалубливание, например, с целью высвобождения форм опалубки, и др. Поэтому в реальных условиях использования косвенных методов испытаний бетона указанное требование СТБ EN 13791-2012 выполнить невозможно. Но, с другой стороны, если бы его можно было выполнить, то отпадает необходимость в самих косвенных испытаниях бетона, поскольку необходимая информация о качестве бетона в данных конкретных условиях будет получена на стадии градуировочных испытаний. С таких позиций п.8.2.4. СТБ EN 13791-2012 можно рассматривать лишь как пожелание и предостережение, но не в качестве руководства к действию.

При соблюдении технологических режимов бетонных работ острой потребности в контроле прочности бетона в конструкциях, как правило, не возникает. А в «нештатных» случаях приходится пользоваться неадекватными ситуациями градуировочными зависимостями, поскольку смоделировать сложившуюся «нештатную» ситуацию с бетоном в лабораторных условиях градуировочных испытаний не представляется возможным. Практическая невозможность заблаговременно построить «правильную» градуировочную зависимость для того или иного косвенного метода испытаний привела к разработке методик коррекции «неправильных» градуировочных зависимостей. Общим во всех методиках является использование так называемых экспертных методов, в роли которых выступает либо метод прессовых испытания отобранных из бетонного массива кернов, либо метод отрыва со скалыванием. Радикальное отличие методик коррекции градуировочных зависимостей по евростандарту СТБ EN 13791-2012 и группы - СТБ 2264-2012, ГОСТ 17624 состоит в иной процедуре обработки данных корректирующих испытаний. В результате чего, оценка прочности бетона по градуировочной зависимости евростандарта [2] будет на величину  $\Delta f = k_1 \cdot s$  ниже (см. рис.2), чем по градуировкам нормативов [4, 5];  $s$  – стандартное отклонение значений прочности по данным экспертных методов.



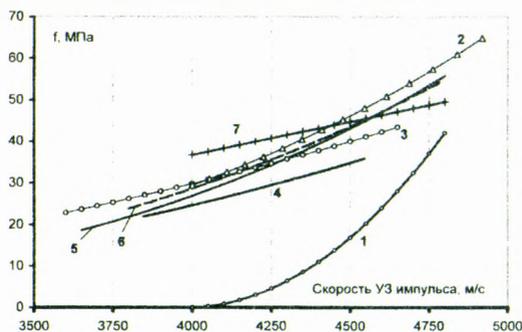
1 — базовая кривая; 2 — градуировочная зависимость;  $\delta f_{i..n}$  — разница между отдельным результатом испытания прочности бурового керна и значением прочности по базовой зависимости;  $\Delta f$  — смещение базовой кривой

Рисунок 2 — Построение градуировочной зависимости по данным совместных прессовых испытаний и испытаний отобранных кернов неразрушающим методом по СТБ EN 13791–2012

Приведенные в [2, таб. 2] значения коэффициента  $k_1$  соответствуют 10% квантилю массива данных градуировочных испытаний. Это, с одной стороны,

якобы повышает надежность контроля, уменьшая вероятность завышения прочности, но, с другой - способствует утрате доверия к неразрушающим испытаниям, поскольку их оценка в большинстве случаев будет ниже нормативного значения, даже для качественного бетона с заданными прочностными показателями. В этом аспекте, построение градуировочных зависимостей по методикам СТБ 2264 [4] и ГОСТ 17624 [5] делает оценки прочности неразрушающими методами и прямыми испытаниями образцов сопоставимыми, но, разумеется, степень их неопределенности будет разной.

В DIN EN 13791-2009 и соответственно, СТБ EN 13791-2012 введен термин «базовая градуировочная зависимость». В качестве таковой берется зависимость для соответствующего неразрушающего метода, построенная при достаточно высокой статистической обеспеченности процедуры ее построения. В [8] приведены варианты базовых градуировочных зависимостей, которые можно сопоставить с зависимостями, построенными по рекомендациям ГОСТ 17624-87 и ГОСТ 22690-88, а также с зависимостями, полученными авторами по результатам натуральных испытаний объектов строительства. На рисунке 2 приведен ряд градуировочных зависимостей для ультразвукового импульсного метода. Зависимости 2 и 3 получены авторами по данным испытаний конструкций и образцов из бетона на объекте монолитного строительства «Минск-арена», составы приведены в таблице 1. Кривая 2 соответствует составу № 2 (С35/45), кривая 3 – составу № 1 (С25/30). Кривая 4 получена для бетона состава № 2, но в возрасте 2 сут. Кривая 5 – рекомендуемая ГОСТ 17624-87 зависимость вида  $f_c = A \cdot V^B$  при оценке прочности бетона в конструкциях. Кривая 6 может рассматриваться в качестве базовых для семейства бетонов по таблице 1. Кривая 7 соответствует градуировочной зависимости прибора УК1401. Заметно сильное отличие базовой кривой 1 по СТБ EN 13791-2012 от всех остальных. Кроме того, для указанной зависимости оговаривается диапазон косвенного параметра – скорости ультразвукового импульса – 4000 м·с<sup>-1</sup> .. 4800 м·с<sup>-1</sup>, что, на наш взгляд, выглядит несколько странным, так как диапазон значений скорости ультразвукового импульса от 3500 м·с<sup>-1</sup> до 4000 м·с<sup>-1</sup> выпадает из рассмотрения.



1 – базовая кривая по СТБ EN 13791-2012;  
 2 – состав №2 (см.таб.1): проектный класс – С35/45, возраст – 28 сут;  
 3 – состав №1 (см.таб.1): проектный класс – С25/30, возраст – 28 сут;  
 4 – состав №2(см.таб.1): проектный класс – С35/45, возраст – 2 сут; 5 –  $A \cdot V^B$ ;  
 6 –  $M \cdot V^{0,53}$ , состав №3(см.таб.1): проектный класс – С30/37, возраст – 28 сут;  
 7 – базовая кривая УК1401

Рисунок 3 – Градуировочные зависимости ультразвукового импульсного метода

А именно этот диапазон скоростей составляет область наиболее эффективной работы метода. А вот значения скорости ультразвука выше 4600 м·с<sup>-1</sup>, напротив, область пониженной достоверности оценок данного метода. Заметим, что в документе [2] не предписывается использование только указанной зависимости, также не оговариваются и ограничения на использование иных кривых.

Таблица 1 – Составы бетона и градуировочные зависимости

№ состава обознач. состава	Расход песка		Расход песч. гравия		Расход цемента, кг	Градуировочная зависимость ультразвукового метода
	кг	м <sup>3</sup>	кг	м <sup>3</sup>	ПЦ-500	в проекти. возрасте (28 сут.)
№1 * C25/30 F100 W6	750	0,5	1100	0,79	445	$f_c = 3 \cdot 10^{-4} V^{2,498}$ ; МПа (3)
№2 ** C35/45 F100	710	0,47	1000	0,71	600	$f_c = 0,47 \cdot 10^{-12} V^{3,81}$ ; МПа (4)
№3 ** C30/37	730	0,49	1050	0,75	540	$f_c = 4,3 \cdot 10^{-12} V^{3,56}$ ; МПа (5)

\* Дозирование воды на осадку конуса 13..15 см (марка по удобоукладываемости П3)

\*\* Дозирование воды на осадку конуса 16..18 см (марка по удобоукладываемости П4)

#### Комбинирование методов испытаний

Повысить надежность оценки прочности бетона возможно на основе комбинирования методов, объединяя несколько - обычно два физически разных метода. Существуют разные подходы к объединению методов, но эффект проявится только в случае, если объединяемые методы обладают свойством *комплементарности* [7] по отношению к влияющим на их косвенным параметрам иным свойствам бетона, независимым от его прочности.

В СТБ EN 13791-2012 [2] разработчиками предусмотрена лишь ссылка на так называемые национальные предписания и специальную литературу по вопросу комбинирования методов испытаний, конкретной же методики комбинирования неразрушающих методов в этом документе нет.

Предлагаемый в [7] алгоритм объединения представляет собой усреднение оценок прочности бетона методом упругого отскока  $f_{c,l}$  и ультразвукового импульсного метода  $f_{c,us}$ , взаимно комплементарные по отношению к модулю упругости бетона. Объединенную оценку прочности  $f_{c,cube\ compl}$  можно рассчитать из выражения

$$f_{c,cube\ compl} = \frac{f_{c,us} + \omega \cdot f_{c,l}}{1 + \omega}, \quad (1)$$

где  $\omega$  – весовой коэффициент.

Об эффективности комбинированного метода свидетельствуют приведенные выше (см. рис.1) результаты испытаний монолитных конструкций, находившихся в замороженном состоянии и испытанных до и после оттаивания. Характерным для замороженного бетона явилась смена знаков поправок для неразрушающих методов испытаний практически по всем испытанным колоннам: ультразвуковой метод стал давать завышенные оценки, а метод упругого отскока – заниженные. Кроме смены знака отклонений оценок прочности, значительно увеличились и сами отклонения, если для конструкций твердевших и испытанных в нормальных условиях отклонения оценок прочности (в среднем) находились в пределах 3,5..4,5 МПа, то для замороженного бетона этот показа-

тель возрос до 8..13 МПа. Характерным явилось и отрицательное значение коэффициента взаимной корреляции оценок прочности молотком Шмидта и ультразвуковым методом:  $r_{LIS} = -0,24$ .

Следует обратить внимание на то, что средние значения прочности по данным комбинированного метода для всей группы колонн (показаны горизонтальными линиями на рис. 1) практически совпадают: для замороженного бетона  $f_{cm} = 42,1$  МПа, для оттаявшего -  $f_{cm} = 45,5$  МПа.

Методика комбинирования включена в гармонизированный с нормами Евросоюза стандарт предприятия СТБ Белгорхимпром 02.0-2013 «Контроль прочности бетона в строящихся и эксплуатируемых зданиях и сооружениях ультразвуковым методом».

### *Критерии соответствия*

Имеет место несоответствие названий и обозначений некоторых ключевых величин в национальных стандартах и действующем с 2010 года СТБ EN 13791-2012 [3]. Дело не в формальной стороне вопроса. Опыт преподавания показывает, что порядка 50% студентов 5 курса специальности ПГС испытывают затруднения в наименовании и в трактовке величин, входящих в обозначение класса бетона по прочности в национальных стандартах, в частности - СНБ 5.03.01-02 [1], СТБ 2264-2012 [2] и СТБ 1544-2005. Речь идет о нормативном сопротивлении бетона осевому сжатию  $f_{ck}$  и гарантированной прочности  $f_{c, cube}$ , величинах качественно тождественных, поскольку они характеризуют одно и то же свойство бетона, но имеющих столь различающиеся названия и обозначения. В этом отношении терминология и обозначения, принятые в СТБ EN 206-1-2011 и СТБ EN 13791-2012 [3], по нашему мнению, более последовательны, проще, понятнее и не менее информативны. Критериальным параметром является характеристическая прочность бетона  $f_{ck}$ . А способ ее оценки - по данным испытаний образцов-призм, цилиндров или кубов - указывается соответствующим индексом:  $f_{ck,cyl}$ ,  $f_{ck,cube}$ . Вероятно в дальнейшем, по мере совершенствования нормативной базы РБ, какой-то из рассмотренных систем придется отдать предпочтение.

Расчет характеристической прочности бетона конструкций  $f_{ck,ис}$  может выполняться как на основе статистических методов – так называемый метод А [2], так и нестатистических методов – метод В [2]. СТБ EN 13791-2012 допускает использования метода В только при определении прочности бетона прессовыми испытаниями образцов-кернов. Для всех остальных методов испытаний, включая и метод отрыва со скалыванием, используется метод А. СТБ 2264-2012 [4] допускает использования метода В и метода А для любых видов испытаний бетона. Расчетные выражения обоих методов для СТБ 2264-2012 и СТБ EN 13791-2012 совпадают. При этом имеет место очевидный соблазн использования метода В, поскольку он не требует получения репрезентативной выборки данных и соответственно большого объема работ. Но следует помнить, что использование нестатистических методов расчета характеристической прочности приводит, как правило, к ее занижению. Об этом указано в примечании п.7.3.3 [2], где не рекомендуется использовать метод В в спорных случаях.

Заметим присутствующую в формулах (3) и (4) [4] расчета характеристической прочности по методу А очевидную ошибку: стандартное отклонение  $\sigma$  следует рассчитывать для того же параметра, для которого определяется доверительный интервал, то есть – для призмной прочности, а не для кубовой, как указано в формуле (4) [4].

Существенным отличием СТБ EN 13791-2012 от других действующих в республике нормативов является иной критерий соответствия бетона конструкций классу по прочности, - евростандарт допускает снижение характеристической прочности бетона конструкций и сборных элементов на 15 % относительно класса по СТБ EN 206-1-2011 [3] используемого бетона. В частности, для бетона проектного класса по прочности C25/30 минимальное значение характеристической кубовой прочности составляет 26 МПа, а для бетона класса C35/45 – 38 МПа. СНБ 5.03.01 (п.13.2.1) [1], СТБ 2264-2012 не допускают снижения прочностных показателей бетона в конструкции, несмотря на то, что различия условий формирования структуры бетона малоразмерного испытательного образца и массивной армированной конструкции, очевидны. Такой подход к оценке способствует возникновению конфликтности отношений между проектировщиком, производителем бетонных работ и заказчиком, поскольку по результатам испытаний, если до них доходит дело, производитель работ уже заранее оказывается в проигрышном положении.

Накопленная авторами статистика испытаний конструкций в построчных условиях [8] подтверждает обоснованность установленных СТБ EN 13791-2012 значений характеристической прочности бетона, которые обеспечивают устойчивое подтверждение проектного класса бетона для 95 % монолитных конструкций для объектов с высокой технологической дисциплиной. По установленной же СНБ 5.03.01 и СТБ 2264-2012 гарантированной прочности браковке подлежали бы 22 % конструкций из бетона проектного класса C30/37 и 13 % - из бетона C25/30 и 27 % - из бетона C35/45. Рост процента несоответствия проектному показателю по прочности закономерно наблюдался с повышением класса используемых бетонов - от C25/30 и до C35/45 включая.

### *Заключение*

Бетон следует рассматривать как материал с колеблющимися характеристиками по случайному принципу, результаты испытаний которого подчиняются нормальному распределению. Разница между прочностью на сжатие бетона в конструкции и прочностью стандартных испытательных образцов неизбежна, что нашло отражение в СТБ EN 13791-2012, допускающем снижение прочности бетона в конструкциях: критериальный порог – гарантированная (характеристическая) прочность – снижен на 15 %. Статистика испытаний бетона монолитных конструкций ряда объектов строительства в Республике Беларусь подтверждает правомерность выбранного критерия и позволяет рекомендовать его к использованию. По этому положению евростандарт не согласуется с СНБ 5.03.01-02 и СТБ 2264-2012.

СТБ EN 13791-2012 допускает применение комбинированных методов неразрушающих испытаний бетона. Рассматриваемое комбинирование стандартных методов – ультразвукового импульсного и упругого отскока позволяет расширить область достоверных оценок прочности бетона неразрушающими испытаниями.

Методика построения и коррекции градуировочных зависимостей неразрушающих методов определения прочности бетона в конструкциях по СТБ EN 13791-2012 содержит спорные моменты. Обратной стороной указанной методики может явиться существенное занижение оценки нормативного показателя прочности бетона в конструкции, что неизбежно повлечет за собой отказ от использования неразрушающих методов в практике строительства.

СТБ EN 13791-2012 является ключевым нормативом для оценки качества бетонных работ. В то же время все обозначенные в нем ссылки связывают его исключительно с евростандартами, в частности:

- EN 12504-2-2001 - Испытание бетона в строительных конструкциях. Часть 2. Неразрушающее испытание. Определение индекса отскока;

- EN 12504-3-2005 Испытание бетона в строительных конструкциях. Часть 3. Определение усилия отрыва;

- EN 12504-4-2004 Испытание бетона в строительных конструкциях. Часть 4. Определение скорости распространения ультразвука.

Данное обстоятельство предполагает либо заимствование всей системы нормирования испытаний бетона, либо разработки национального эквивалента такой системы. Полвинчатое решение, имеющее место в настоящее время, не может считаться удовлетворительным.

#### **Список цитированных источников**

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. – Минск: Минстройархитектуры, 2003. – 139 с.

2. Оценка прочности на сжатие бетона в конструкциях и сборных элементах конструкций: СТБ EN 13791-2012, Госстандарт. – Минск, 2012. – 18 с.

3. Бетон. Часть I. Требования, показатели, изготовление и соответствие: СТБ EN 206-1-2011.

4. Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности: СТБ 2264-2012, Госстандарт. – Минск, 2013. – 20 с.

5. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности: ГОСТ 17624-87. – Введ. 01.01.88. – М., 1988. – 12 с.

6. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля: ГОСТ 22690-88. – Введ. 01.01.91. – М., 1991. – 22 с.

7. Снежков, Д.Ю. Неразрушающий контроль бетона монолитных конструкций / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович // Строительная наука и техника. – Мн., 2009. – №4(25). – С. 76-84.

8. Снежков, Д.Ю. Анализ методик неразрушающих испытаний бетона конструкций по действующим государственным стандартам и нормам Евросоюза / Д.Ю. Снежков, С.Н. Леонович, А.В. Вознищик // Наука и техника – 2013. – №2 – Минск: БНТУ. – С 33-39.

9. Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen: DIN EN 13791-2009.

УДК 69.003.12

*Срвыкина Л.Г.*

### **ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ-АНАЛОГОВ В СМЕТНЫХ РАСЧЕТАХ**

Целью настоящей работы является анализ действующих и планируемых к реализации в Республике Беларусь подходов к определению стоимости строительства на основании данных объектов-аналогов и сопоставление их с мировой практикой.

Сегодня перед строительным комплексом Республики Беларусь стоит задача перехода к работе по экономически обоснованным неизменным договорным (контрактным) ценам [1]. Основу расчета договорной цены составляет сметная стоимость строительства, сформированная в ходе разработки проектной документации. Использование показателей объектов-аналогов является одним из методов определения сметной стоимости. Такой способ позволяет существенно сократить затраты времени на сметные расчеты, учесть реально зафиксированные и экономически обоснованные стоимостные показатели, но требует