

лее метров: Отчет о НИР (заключит.) / УП «Институт БелНИИС»; Рук. темы: Н.П.Блещик, В.Н.Белевич – Мн., 2003. – 241 с.

9. Рекомендации по определению составов обычного и пластифицированного бетонов с учетом условий тепловой обработки и данных статического контроля прочности.-Мн.: ИСиА, 1984 – 69 с.
10. Проектирование и возведение конструкций подземных частей полносборных зданий с рациональным применением монолитного бетона. Пособие 5.03.01 – 96 и СниП 3.03.01 – 87; Мн.: Минстройархитектура РБ, 1997 – 153 с.
11. Пособие по подбору состава тяжелого бетона по ГОСТ 27006 – 86, М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1988 – 65 с.
12. Баженов Ю.М. «Способы определения составов бетонов различных видов».-М.: Госстройиздат, 1975 – 85 с.

УДК.691.327:620.179.05

Леонovich С.Н., Снезжков Д.Ю. (БНТУ), Аимян М.Л. (ОАО «Минскпромстрой»)

ОЦЕНКА РАСПАЛУБОЧНОЙ ПРОЧНОСТИ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Достоверность и технологическая надежность неразрушающих методов контроля бетонных изделий зависит как от метрологических характеристик применяемых средств контроля, от степени надежности используемых характеристик связи “измеряемый косвенный параметр - прочность бетона”, так и от конкретных технологических условий их применения.

Обеспечить на строительной площадке рекомендуемые нормативными документами условия применения неразрушающих методов контроля бывает затруднительно во многих случаях. В частности, технология монолитного строительства далеко не всегда может обеспечить необходимое качество открытой поверхности изделия, а доступ к «качественным» донным и боковым поверхностям закрыт опалубкой, вследствие чего главным критерием оценки распалубочной прочности бетона по-прежнему остается результат испытаний образцов-кубов, условия твердения которых, как показывает практика, может заметно отличаться от условий твердения самого изделия.

В настоящее время к наиболее развитым средствам неразрушающего контроля прочностных характеристик бетона можно отнести приборы, реализующие: метод упругого отскока (склерометр), метод пластической деформации, ультразвуковой импульсный метод, ударно-импульсный метод, и условно неразрушающий, – метод отрыва со скалыванием. У каждого из перечисленных методов есть свои сильные и слабые стороны. Авторами, в период с мая по июль месяц текущего года, на объекте “Подземный общественно-торговый центр” ОАО “Минскпромстрой” был выполнен ряд работ по оценке эффективности различных методов неразрушающего контроля монолитного бетона с целью отслеживания кинетики и уточнения сроков набора изделием распалубочной прочности. Основной тип изделий - плиты основания, плиты перекрытий и колонны. Контроль осуществлялся двумя типами приборов: склерометром ОМШ-1 (ГОСТ-22690), ультразвуковым бетон-тестером УК1401, ряд измерений выполнен прибором ИПС-МГ4, реализующим ударно-импульсный метод контроля. Кроме использования перечисленных средств, производилась выборка образцов – кернов из контролируемых изделий и испытания образцов-кубов бетона.

Оценка прочности бетона на ранней стадии твердения (1÷4, сут.) плит основания и перекрытий осуществлялась на основе измерений свойств бетона открытой, верхней поверхности, имеющей как неровности 2÷7 мм, так и видимые признаки пересушивания верхнего слоя. Очевидно, что указанные условия далеко не благоприятны для применения перечисленных средств контроля. Тем не менее, полученные результаты могут представлять интерес для практики контроля монолитного бетона.

Методика обмера пикетных точек контроля заключалась в получении 8÷11 отсчетов с зоны поверхности размером 0,5м × 0,5м. Оценка прочности для ультразвукового контроля производилась по формуле:

$$R = A \cdot e^{B \cdot t};$$

где R – кубиковая прочность (Мпа),

t – время распространения (мкс) УЗК на постоянной базе 150ммА;

A и B – коэффициенты (A=309,075; B=-0,07185).

Данные прибора ОМШ-1 обрабатывались с использованием полиномиального представления функции связи:

$$R = -0,84763 + 0,19135x - 0,000424x^2 + 0,000202x^3,$$

где R – кубиковая прочность (Мпа), x – величина отскока.

Приведенные характеристики строились по методике ГОСТ, но, как показали результаты последующих натуральных испытаний на монолитных бетонных изделиях, возникла необходимость их коррекции с учетом данных испытаний образцов-кернов. В приборе ИПС-МГ4 использовалась типовая, усредненная характеристика.

Во избежание влияния арматуры выполненные первые серии измерений прочности бетона проводились в зонах свободных от армирования. В дальнейшем выявилось, что, несмотря на интенсивное армирование изделий (шаг армирования 15÷22 см, диаметр -12÷25 мм, толщина защитного слоя 30÷45мм), заметного влияния на показания приборов не наблюдалось, за исключением случаев раскрытия в зоне контроля усадочных трещин (плиты основания) на поверхности, в проекции стержневой арматуры, что легко фиксировалось ультразвуковыми измерениями. Наличие трещин фиксировалось по заметному (на 30÷50%) увеличению времени прохождения, причем визуально трещина обнуживалась не всегда. Оценки глубины трещин, выполненные по формуле

$$DC = \frac{B}{2} \sqrt{\left(\frac{t - T_k}{t_0}\right)^2 - 1};$$

где DC – глубина трещины;

B – база прозвучивания;

t₀, t – отсчеты времени прохождения волны соответственно параллельно и через трещину;

T_k – поправка

дали значения в пределах толщины защитного слоя (35÷70мм).

Таблица 1

Плита перекрытия. Бетонир. -10.07.04г. И сп.16.07.04г.
Контроль верхн.(открытой) поверхности

№ точки контр.	У5		С5-П5		ед.	
	не шлиф.	шлифов.	не шлиф.	шлифов.		
№ отсчетов	1	2	3	4		
1	20	24	25	22	дел.	ОМШ-1
2	22	23	20	25	дел.	
3	22	29	20	22	дел.	
4	23	27	23	23	дел.	
5	23	25	20	24	дел.	
6	24	24	20	27	дел.	
7	19	30	20	24	дел.	
8	22	25	21		дел.	
средн. значение	21,85714	26	21,14286	23,85714	дел.	
S (%)	7,512787	9,738226	8,915975	7,430942	%	
ПРОЧНОСТЬ Мпа	20,4	28	20	24,3	Мпа	
1	4,478	4,559	4,424	4,386	Км/сек.	УК1401
2	4,425	4,477	4,615	4,762	Км/сек.	
3	4,491	4,348	4,518	4,559	Км/сек.	
4	4,658	4,132	4,412	4,201	Км/сек.	
5	4,559	4,478	4,249	4,386	Км/сек.	
6	4,504	4,505	4,438	4,36	Км/сек.	
7	4,518	4,399	4,386	4,412	Км/сек.	
9						
средн. значение	4,519	4,414	4,434571	4,438	Км/сек.	
S (%)	1,627331	3,223571	2,553638	3,988071	%	
ПРОЧНОСТЬ Мпа	28,45	26,8	27,2	27,3	Мпа	

Для оценки степени влияния состояния поверхности плит на оценки прочности была выполнена серия измерений на выровненной, шлифованной абразивным камнем поверхности и «как есть». В таблице 1 приведены некоторые результаты. Данные в столбцах 2 и 4 получены после сошлифовывания неровностей поверхности бетона, столбцах 1 и 3 – без обработки поверхности. Видно, что результаты ультразвуковых испытаний, в отличие от данных ОМШ-1, не подвержены заметному влиянию этого фактора. Необходимо отметить эффективность прибора УК1401 для подобных измерений.

Стабильность его результатов измерений достигается, по-видимому, не только за счет сухого точечного акустического контакта (СТК), но и за счет особого режима возбуждения и приема акустических колебаний: протектор излучающего преобразователя прибора совершает колебания, касатель-

ные к поверхности изделия (а не нормальные, как в приборах старых типов), что возбуждает в бетоне, в направлении приема, интенсивную подповерхностную продольную волну, надежно фиксируемую на приёме, несмотря на её значительное затухание в бетоне и точках контакта.

Важным моментом, как уже упоминалось, является выбор поверхности контроля. Произвести сравнение позволило наличие конструктивно предусмотренных в некоторых плитах перекрытий сквозных проемов, с вертикальным расположением стенок. Испытания (см. рис.1) показали сопоставимость результатов оценки прочности бетона, полученных ультразвуковым импульсным методом на горизонтальной открытой поверхности плиты (0,25 пов. рис.1) и вертикальной гладкой поверхности на 3 см ниже уровня поверхности, разница в оценке прочности не превышала 5÷7%. Значительно большее отличие оценок прочности бетона от средней по сечению плиты наблюдается при контроле донной зоны, разница достигает 35÷50 %% и более.

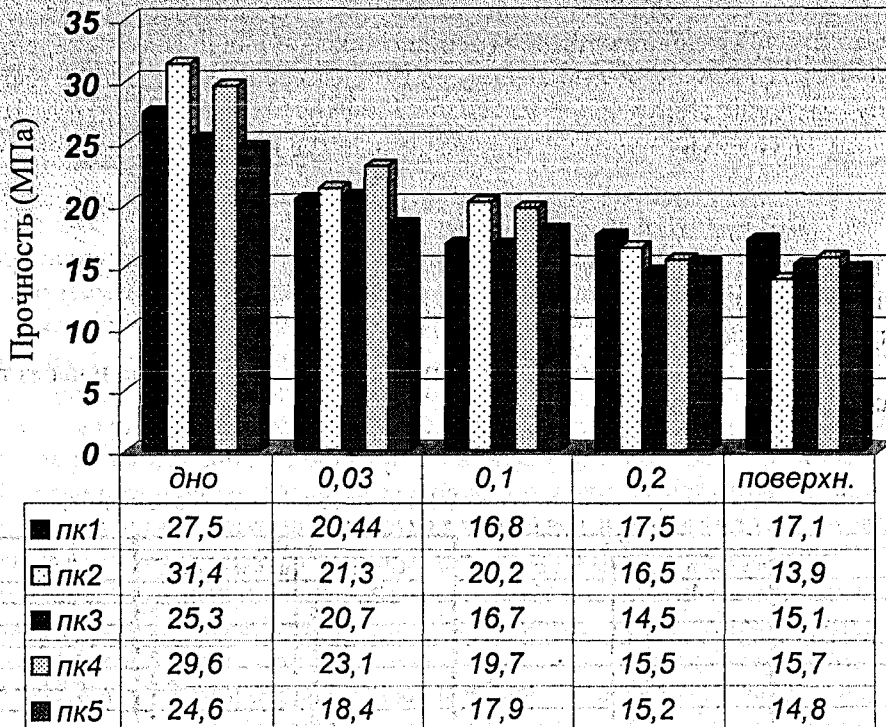


Рисунок 1 – Распределение значений прочности бетона плиты перекрытия толщиной 0,22м по высоте сечения, по результатам ультразвукового контроля (бетон В30, возраст 4,5 сут., прочность бетона образцов-кубов – 21,2 МПа)

Для механических методов испытаний картина выглядит несколько сложнее - проявляется фактор времени: на самой начальной стадии твердения (1÷2 сут.), когда бетон ещё «мягкий», качество поверхности практически не проявляет себя на результатах измерения; по мере набора прочности «поверхностная» оценка начинает отставать от «пристеночной» изделия, достигая к 28 суткам лишь 60 – 80%.

Это позволяет для оценки начальной стадии твердения бетона (до 3 сут.) рекомендовать механические методы контроля, как наиболее надежные. По мере твердения бетона это их достоинство теряется, и преимущество переходит к ультразвуку.

Наблюдаются значительные различия оценок прочности бетона в различных точках контроля поверхности: в возрасте бетона до 10÷14 суток величина R_{max}/R_{min} достигает значений 2,5÷4 ; к моменту достижения 28-и суточного возраста это соотношение снижается до 1,2÷1,5 . На рис.2 приведен характерный вид распределения оценок прочности по поверхности плиты основания.

Анализ данных кинетики твердения бетона (рис.3, 4) показал наличие следующих характерных моментов: интенсивный рост оценок прочности по всем трем использованным методам, начиная непосредственно с момента схватывания бетона; резкое замедление процесса твердения в интервале сроков 3÷5 суток; наличие, в большинстве случаев наблюдений, выраженного максимума для данных ультразвукового контроля в интервале сроков 4÷7 суток, в ряде случаев это наблюдалось и для

приборов ИПС-4МГ и ОМШ-1. Наличие точки экстремума является косвенным признаком завершения начальной стадии набора прочности и может служить сигналом достижения бетоном распалубочной прочности.

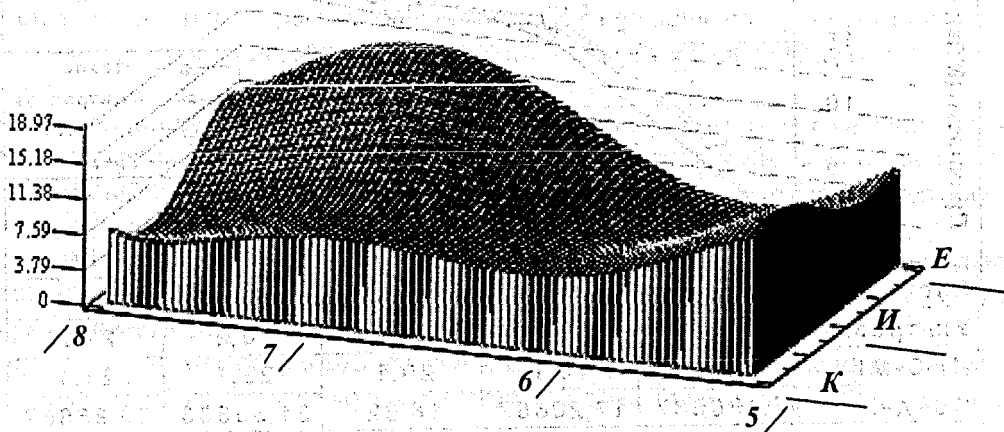


Рисунок 2 – Распределение оценок поверхностной прочности плиты основания (шаг расположения постов контроля 2метра; возраст бетона 8 суток (бетон В30))

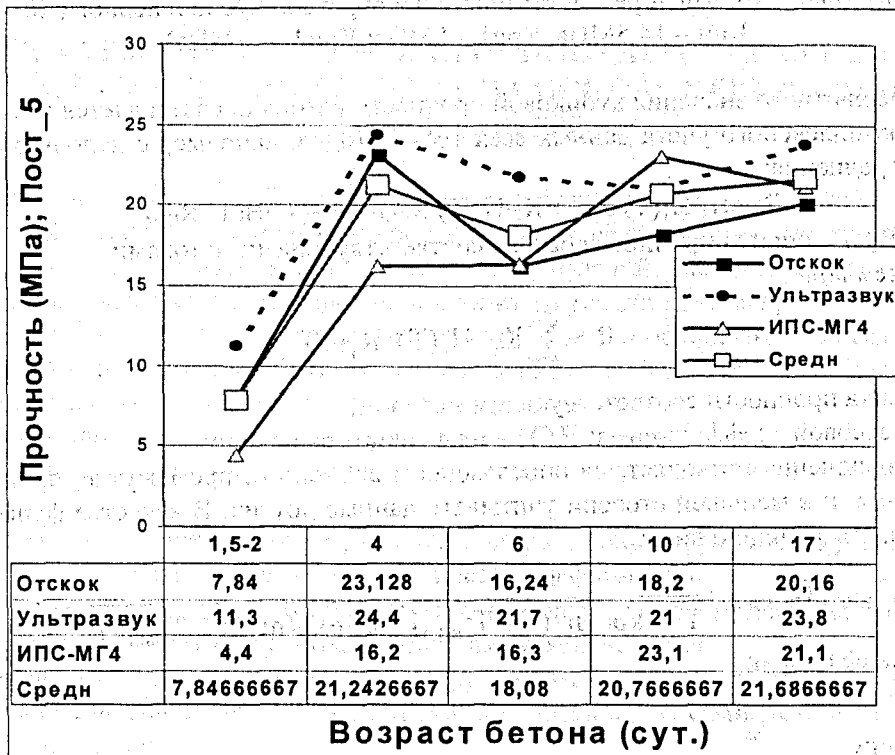


Рисунок 3 – Диаграмма кинетики набора прочности бетоном плиты основания (пост 5).

Значительная дифференциация прочности по площади плиты – до 4-х кратной, к 28-суточному возрасту снизилась до 1,5. Характерным явилось большое количество усадочных трещин в зоне, где прочность в раннем сроке твердения была низкой.

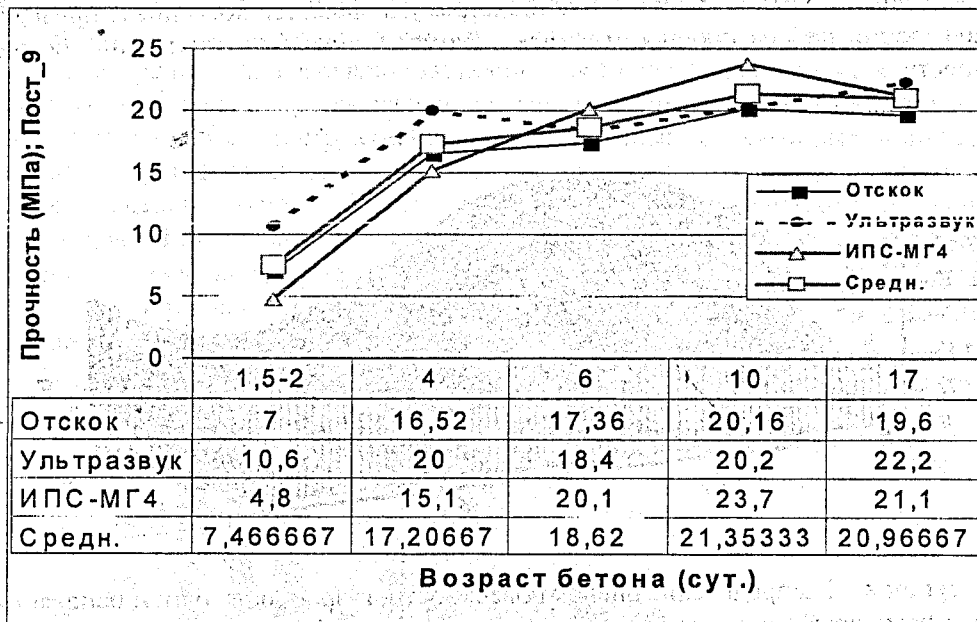


Рисунок 4 – Диаграммы кинетики набора прочности бетона плиты основания - бетон В30 ; бетонирование 31.07.2004г. Кб, Крн – результат испытания образцов-кубов и кернов (Кб – 14МПа, Крн – 14,5МПа, Крн1 – 8МПа; Крн2 – 17МПа).

Оценку абсолютного значения кубиковой прочности бетона представляется возможно производить на основе комплексного учета данных всех трех методов, например с использованием следующей формулы усреднения:

$$R = K_1 \cdot H_1(T) \cdot R_{уз} + K_2 \cdot H_2(T) \cdot R_{ИПС} + K_3(T) \cdot H(T) \cdot R_{ИМ} ;$$

где $R_{уз}$, $R_{ИПС}$, $R_{ИМ}$ - оценки прочности бетона соответствующими методами, или в общем виде:

$$R = \sum_{i=1}^M K_i \cdot H_i(T) \cdot R_i(T) ;$$

где $R_i(T)$ – оценка прочности соответствующим методом,
 K_i – i -й весовой коэффициенты; $H_i(T)$ – i -я функция включения.

Функция включения позволяет, на определенном временном промежутке, придавать больший вес одним методам и в меньшей степени учитывать данные других. В качестве функции включения удобно использовать функцию вида:

$$H(T, n, m, T_{вкл}, T_{выкл}) = \frac{1}{1 + \exp(-n \cdot (T - T_{вкл}))} \times \frac{1}{1 + \exp(m \cdot (T - T_{выкл}))} ;$$

на рис.5 приведен её график.

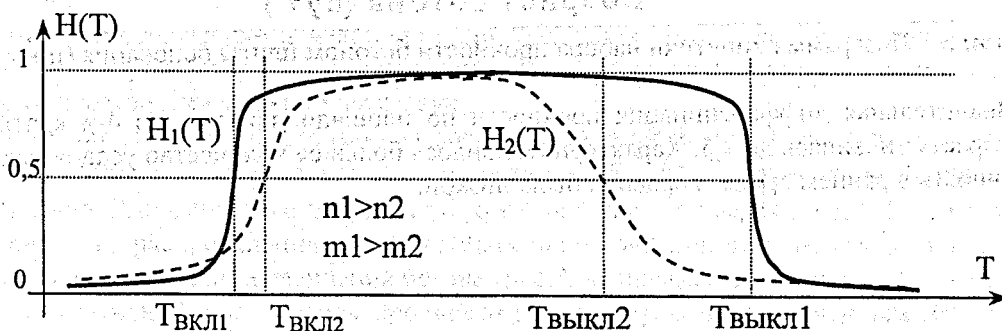


Рисунок 5 – Графики функций включения.

ВЫВОДЫ

1. Допустимо использование открытых участков поверхности монолитного ж/б изделия (плит) для оценки прочностных характеристик бетона, как механическими методами, так и ультразвуковым импульсным методом.
2. Наблюдается значительная пространственная дифференциация по прочностным параметрам (до двукратных значений) крупногабаритных изделий – плит основания (12м×18м×0,6м) в возрасте до 10÷14 суток.
3. Наблюдаются значительные расхождения в оценках прочности бетона разрушающими методами, что затрудняет «привязку» данных неразрушающего контроля к кубиковой прочности. Различие данных испытаний образцов – кубов и кернов бетона достигало в отдельных случаях 25÷30%%, причем данные испытаний кернов всегда давали более низкие оценки.
4. Неразрушающие методы, и в особенности ультразвуковой импульсный метод, позволяют достаточно надежно, по «стабилизации» скорости акустического импульса, фиксировать момент замедления набора прочности бетоном на уровне 50 + 60%% от марочной.
5. Оценку прочности твердеющего ж/б изделия следует производить на основе комплексного учета данных механических и ультразвуковых испытаний бетона с учетом временного фактора.

УДК 620.179.05

Леонович С.Н., Снежков Д.Ю., Мулярчик В.С.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОНОЛИТНЫХ БЕТОННЫХ ПЛИТ НА ОСНОВЕ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Эксплуатационные качества бетонных изделий в значительной степени определяются соблюдением требований технологии монолитного бетонирования, её стабильностью, правильным выбором состава бетона с учетом условий эксплуатации готовых изделий. Наличие системы мониторинга, в первую очередь, прочностных характеристик позволит не только констатировать степень соответствия фактических показателей качества бетона проектным, но и обеспечить производственный цикл дополнительной информационной обратной связью, позволяющей оперативно выявлять отклонения в технологии процесса и вносить соответствующие коррективы.

Особая роль при этом принадлежит неразрушающим методам контроля. Неразрушающие методы контроля прочности бетона, нашедшие свое место в практике строительства, можно разделить на две группы:

- методы, основанные на локальном разрушении (микро - макро) фрагмента (участка) изделия: отрыв со скалыванием, скалывания ребра, пластической деформации;
- методы, прогнозирующие прочность по упруго-деформативным свойствам: метод упругого отскока, ударно-импульсный метод и ультразвуковой импульсный метод.

За последние 10-15 лет парк средств неразрушающего контроля бетона претерпел некоторые изменения в плане совершенствования конструкций и дизайна, но сами методы контроля остались практически неизменными.

Как показали проведенные исследования, обеспечение требований к надежности контроля прочностных характеристик бетона, особенно на стадии его «созревания», каким-либо одним из существующих неразрушающих методов выглядит проблематичным. Одним из обещающих направлений совершенствования неразрушающего контроля является, по нашему мнению, разработка системы оценки распалубочной прочности бетона современными неразрушающими методами при бетонировании конструкций в построечных условиях, основанной на комплексном использовании нескольких взаимно дополняющих методов контроля.

Для накопления исходного статистического материала с последующей математической обработкой и формированием акустической модели твердеющего бетона, с 1 июня 2004 г выполняются работы, на базе натурных испытаний, по оценке распалубочной прочности бетона при бетонировании конструкций в построечных условиях на строительстве «Подземного общественно-торгового центра» на пл. Независимости, ряд измерений – на объекте «Национальная библиотека» в г. Минске, с приме-