УДК 666.97; 69.002.5

Е.М. Дербасова, В.А. Филин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА УСКОРЕННОГО ТВЕРДЕНИЯ НАНОБЛОКОВ В УСЛОВИЯХ ПРИОБЪЕКТНОГО ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

В статье рассматривается экспериментальное моделирование процесса тепловой обработки керамзитобетонных блоков с использованием установки ускоренного твердения в условиях приобъектного изготовления блоков, проводится анализ результатов экспериментов по показателям энергоэффективности и прочности для кладки маловысотных стеновых конструкций.

Индивидуальное строительство, мобильный минизавод, приобъектное базирование, заводское изготовление, установка ускоренного твердения, наноблок, информационно-управляющая система, инфракрасный ИК-излучатель, эксперимент, температурное поле.

The article considers the experimental simulation of the heat treatment process of aggregate concrete blocks using the accelerated hardening installation in conditions of on-site production of units. The analysis of experimental results in terms of energy efficiency and durability for masonry of low-altitude wall structures is done.

Individual building, mobile miniplant, site basing, prefabrication, installation of accelerated hardening, nanoblocks, information and control system, infrared source, experiment, temperature field.

Все более широко распространяющаяся практика использования малых строительных блоков (наноблоков) при возведении малоэтажного жилья в совокупности с применением формы для приобъектного их изготовления ставит вопрос осуществления технологии ускоренного твердения строительных изделий по прочности, достаточной для возведения стеновых конструкций [1]. В этом случае необходимо отказаться от используемой в настоящее время технологии набора прочности в естественных условиях (при температуре окружающей среды), которая применяется в существующих моделях минизаводов, и перейти на заводскую технологию тепловой обработки блоков в специальных камерах. Однако использование формы приобъектного базирования минизавода по изготовлению стеновых блоков накладывает определенные особенности реализации этапов тепловой обработки. Эти особенности носят как конструктивный характер установки ускоренного твердения (УУТ), так и технологический.

Во-первых, конструкция УУТ должна отвечать условиям мобильности (транспортировка на различные объекты строительства) и в тоже время автономности по использованию энергии. Вторая особенность заключается в реализации режима тепловой обработки. Если в стационарных заводских камерах цехового базирования в качестве теплоносителя используется пар низкого давления, то в камерах приобъектного базирования – электрическая или солнечная энергия либо комбинированный источник энергии. Хотя вопрос о применении электрической энергии (инфракрасные генераторы) в камерах тепловой обработки уже известен, однако весьма ограничена информация о характере его влияния на качественные характеристики получаемого строительного изделия, выбора генераторов ИК-нагрева, их расположения внутри установки, а также по комбинированному использованию искусственных и естественных ИК-источников.

С этой целью на полигоне Астраханского инженерно-строительного института в летний период года была проведена серия экспериментов по поиску энергоэффективного режима тепловой обработки, отвечающего условиям обеспечения достижения необходимых прочностных характеристик блока. Эксперименты проводились на специально сконструированной для этой цели установке, представляющей собой камеру со стальными стенками размерами 50х40х45 см, оборудованную съемной крышкой (рис. 1).

Внутренняя часть камеры покрывалась несколькими слоями теплоизоляции: минеральная вата, толщиной 15 мм, асбоцементный лист, толщиной 5 мм, теплоотражающий материал (алюминиевая фольга), толщиной 2 мм. В качестве источников генерации тепловой энергии использовались твердотельные ИК-излучатели, которые устанавливались на дне камеры (спиральные элементы из нихромовой проволоки), боковых стенках камеры (гибкие ТЭНы в нержавеющей оболочке) и на внутренней стороне съемной крышки (спиральные ТЭНы). Электрическое питание ИК-излучателей осуществлялось по однофазному шинопроводу, смонтированному на дне камеры. Подвергаемый тепловой обработке керамзитобетонный блок (полнотелый и пустотелый, размерами 390х190х188) после прессования вместе с поддоном помещался внутрь камеры на специальные поперечные металлические подставки. В одной из них монтировался термодатчик.

Для осуществления контроля температуры как

внутри испытуемого блока, так и в самой камере, на ее боковых стенках высверливались отверстия для установки термодатчиков. Координаты их расположения (см. рис. 2) по высоте: h1, h2, h3, h4, длине l1, l2, l3, l4 и торцевой части b, b1, b2 устанавливались из соображения картины изменения температурного поля блока и воздушного пространства внутри установки.

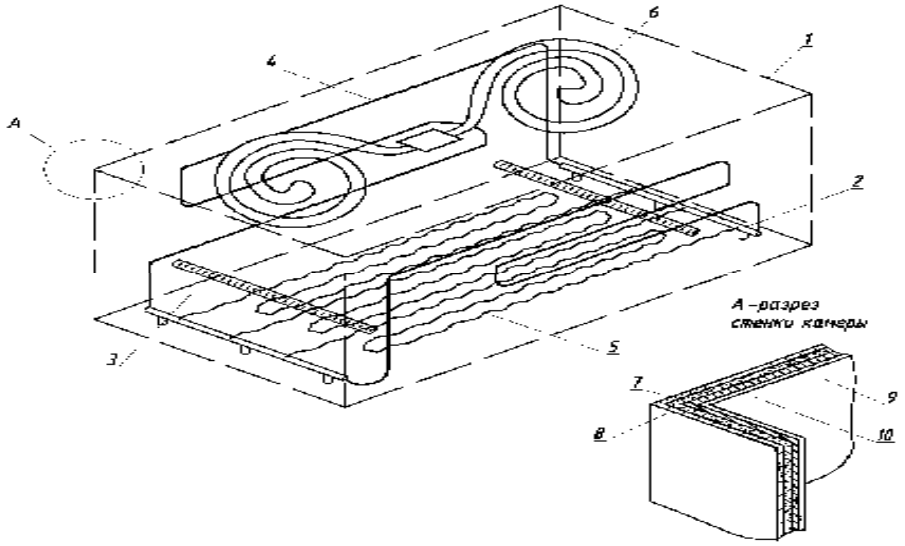


Рис. 1. Расположение в экспериментальной камере твердотельных ИК-нагревательных и токопроводящих элементов:
1 – корпус камеры; 2 – токопроводящая шина на изоляторных подставках; 3 – поперечная балка; 4 – боковой нагревательный элемент; 5 – донный нагревательный элемент; 6 – нагревательный элемент на съемной крышке; 7 – наружная стальная стенка камеры; 8 – теплоизоляционный слой из минеральной ваты; 9 – асбестоцементный лист; 10 – теплоотражающий слой

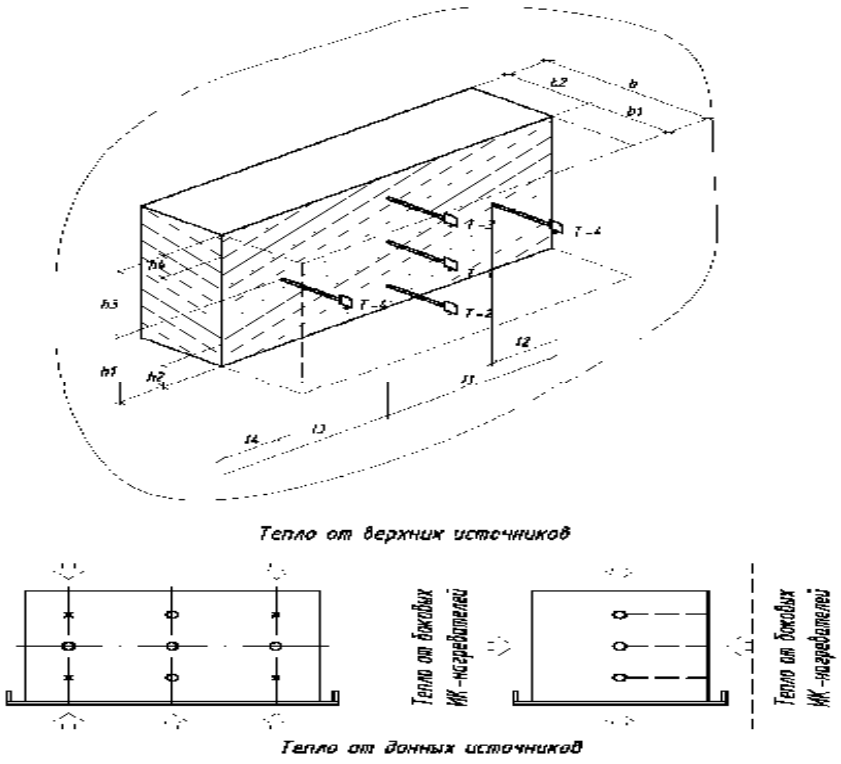


Рис. 2. Расположение блока внутри камеры и термодатчиков в теле блока.
а) в аксонометрическом изображении; б) вид спереди; в) вид с торца
о – точки непрерывного контроля температуры; х – точки эпизодического контроля температуры

Для реализации эксперимента камера оснащалась информационно-управляющей системой, включающей в себя приборы контроля и регистрации температуры (контроллеры фирмы ОВЕН), персональный компьютер с установленным программным обеспечением SCADA, интерфейс связи RS 485 (рис. 3а).

Перед началом конкретного опыта в соответствии с программным обеспечением ОВЕН производилась конфигурация системы (рис. 3б), программирование режима опроса датчиков регистрации температуры в разных точках испытуемого блока, а также осуществлялся процесс построения графика регулирования температуры (рис. 3в).

Программа проведения эксперимента включала выполнение 12 опытов (табл. 1), в каждом из которых были установлены соответствующие условия его реализации.

При этом выделены 5 групп таких условий (табл. 2). Группа «I» отражала теплоизоляционные свойства стенок камеры; группа «J» – тип (модель) установленных в камере ИК-источников тепловой энергии, группа «К» – варианты их размещения в камере и, наконец, группы «L» и «М» соответственно тип наноблока (полнотелый, пустотный) и вид управления камерой (ручной, автоматический).

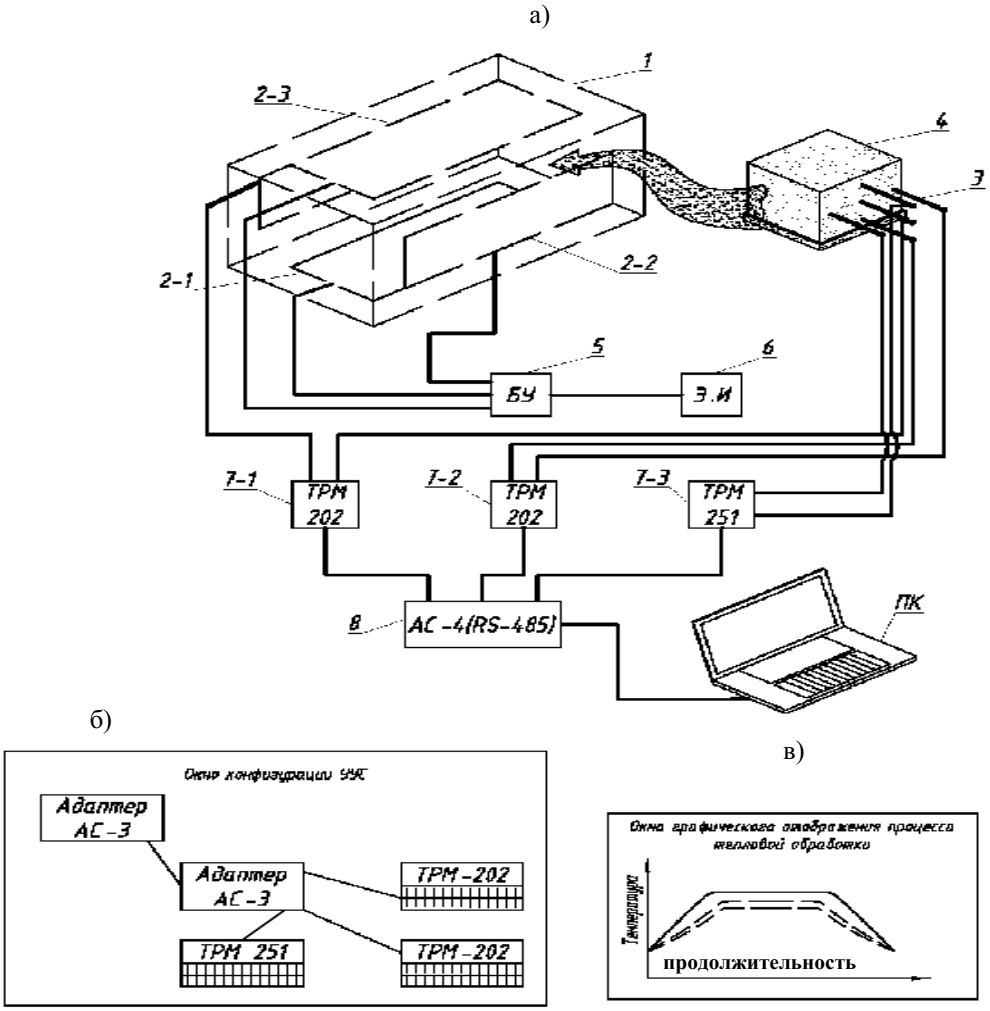


Рис. 3. Информационно-управляющая система экспериментального моделирования процесса ускоренного изготовления наноблока на УУТ в условиях приобъектного его базирования.
1 – УУТ; (2–1), (2–2), (2–3) – ИК-источники нагрева; 3 – термодатчики; 4 – испытуемый наноблок; 5 – блок управления: 6 – цифровой электрический счетчик; (7–1), (7–2), (7–3) – измерители-регуляторы фирмы ОВЕН; 8 – интерфейс связи RS 485

Таблица 1

Карта планирования эксперимента

№ опыта	Условия проведения опыта															Примечание
	I			J				K				L		M		
	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	1	2	
Опыт 1	×	-	-	×	-	-	-	×	-	-	-	×	-	×	-	Три напольные спиральные нихромовые проволоки
Опыт 2	Блок располагался вне камеры, на открытом воздухе															28 суток
Опыт 3	-	×	-	×	-	-	-	×	-	-	-	×	-	-	×	Две напольные спиральные нихромовые проволоки
Опыт 4	-	×	-	-	×	-	-	-	×	-	-	×	-	-	×	-
Опыт 5	-	×	-	×	×	×	-	×	×	×	-	×	-	-	×	Блок разделен на 6 элементов
Опыт 6	-	×	-	-	×	-	-	-	×	-	-	-	×	-	×	-
Опыт 7	-	×	-	×	×	×	-	-	×	×	×	-	×	-	×	-
Опыт 8	-	×	-	×	-	×	-	×	-	×	-	×	-	-	×	-
Опыт 9	-	×	-	×	-	×	-	×	-	×	-	-	×	-	×	-
Опыт 10	-	×	×	-	-	-	-	-	-	-	-	×	-	-	-	С применением зеркального концентратора
Опыт 11	-	×	-	×	-	×	-	×	-	×	-	-	-	-	×	2 спирали, 2 ТЭНа
Опыт 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	×	-	-	Без тепловой обработки. Выдержка – 1 сутки

Композиционный состав бетонной смеси: Ц-6,16 кг; П-11,0 кг; К-9,24 кг; В-3,0 кг.
Продолжительность тепловой обработки: подъем температуры – 3 ч; изотермический прогрев – 3 ч; снижение температуры – 3 ч.
Температурный график тепловой обработки.
Габаритные размеры блока: 390х190х188 мм

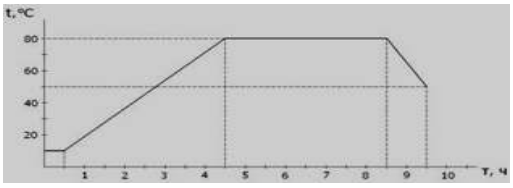


Таблица 2

Характеристика экспериментальной УУТ и получаемых в ней строительных изделий при проведении опытов

№ п/п	Группа	Условное обозначение	Характеристика элементов УУТ
I	Теплоизоляционные свойства	1 2 3	• УУТ не оборудована теплоотражающими стенками; • УУТ оборудована теплоотражающими стенками; • УУТ оборудована светопрозрачной крышкой с зеркальным концентратором солнечной энергии
J	Тип применяемых ИК-источников	1 2 3 4	• проволочные твердотельные генераторы инфракрасного теплового излучения; • гибкие стержневые генераторы инфракрасного теплового излучения; • спиральные твердотельные генераторы инфракрасного теплового излучения; • солнечное излучение
K	Характер размещения ИК-генераторов в УУТ	1 2 3 4	• напольное исполнение • исполнение на боковых стенках; • исполнение на съемной светопрозрачной крышке; • совместное использование всех исполнений установки ИК-генераторов
L	Вид наноблока	1 2	• полнотелый наноблок; • пустотелый наноблок
M	Вид контроля и управления камерой	1 2	• ручное управление; • автоматизированное управление

В процессе реализации проведения каждого опыта записывалось текущее потребление электрической энергии, а по истечении временной программы тепловой обработки блок подвергался испытаниям на прочность.

Так, в опыте № 1 ускоренному твердению подвергался полнотелый блок в камере, стенки которой не были оборудованы теплоотражающими пластинами, с напольным размещением проволочных твердотельных источников нагрева и ручным управлением режимом тепловой обработки.

В опыте № 5 испытуемый блок был разделен на 6 частей, выемка каждой пары которых проводилась после одного, двух и трех часов термообработки. Таким образом, оценивался временной набор прочности бетонного блока.

В опыте № 2 отформованный на вибропрессе полнотелый блок выдерживался на открытом воздухе 28 сут., а в 12 опыте – пустотелый блок – одни сутки. В опыте № 10 проходил испытания полнотелый блок в камере, оборудованной теплоотражающими стенками и светопрозрачной крышкой с зеркальным концентратором солнечной энергии.

В остальных опытах эксперимент проводился в автоматическом режиме, в камере, оборудованной теплоотражающими стенками, с различным сочетанием конструкций ИК-источников и мест их расположения.

В результате анализа данных по каждому опыту устанавливались температурные напряжения внутри блока, расход электрической энергии и прочность испытуемого образца (табл. 3).

Максимальная температура нагрева блока в пределах от 80 до 98 °С характерна для опытов, проводимых с использованием искусственных источников нагрева. Верхний уровень в 98°С отмечен для опыта № 7, в котором для твердения блока использовались напольные, боковые и крышные источники нагрева одновременно. В средней части этого блока температура достигала 81,1 °С и была отмечена ее самая минимальная разница по высоте, ширине и длине блока. При этом была получена наибольшая прочность изделия, но и расход электроэнергии был достаточно высоким по сравнению с другими опытами (70 кВт/м³).

Интересны данные опыта № 10 с использованием светопрозрачной крышки и зеркального концентратора. Здесь зафиксирован максимальный температурный перепад внутри блока, но умеренная распалубочная его прочность, которая соизмерима с прочностью блока, полученного в опыте № 2 при 28-суточном выдерживании изделия на открытом воздухе.

Таблица 3

Показатели энергоэффективности и изотермичности тепловой обработки наноблока при ускоренном изготовлении в экспериментальной УУТ

№ опыта	Температурное напряжение, ºС					Плотность блока, кг/м³	Расход электрической энергии		Прочность, МПа
	t_k^{max}	Перепад температуры внутри блока					На 1 блок, кВт	Удельный расход, кВт/м³	
		$t_{сср}^{max}$	Δt_h^{max}	Δt_l^{max}	$\Delta t_в^{max}$				
Опыт № 1	85,0	75,9	12,0	3,0	3,0	1540	1,25	75	2,0
Опыт № 2	43,0	30,0	6,0	3,5	2,0	1580	0	0	1,2
Опыт № 3	81,5	80,3	15,0	3,0	3,0	1330	0,75	45	2,1
Опыт № 4	80,5	47,5	6,1	±1,7	±1,5	1650	0,15	25	1,8
Опыт № 5	80,0	78,5	-	-	-	-	0,7	42	0,6 1,2 2,0
Опыт № 6	80,0	62,2	- 8,0	5,6	11,0	-	0,23	30	1,9
Опыт № 7	98,0	81,1	4,0	1,6	1,5	1570	1,2	70	2,7
Опыт № 8	80,5	68,0	30,0	2,5	2,0	1530	0,55	38	2,1
Опыт № 9	80,5	71,6	-3,5 +1,2	2,0	3.0	1500	0,5	40	2,3
Опыт № 10	60,0	45,0	15,0	10,0	7,0	1690	0	0	1,5
Опыт № 11	81,0	80,5	8,0	2,5	1,5	-	0,75	-	-
Опыт № 12	30,5	27,5	5,0	3,5	2,0	1650	0	0	0,2

t_k^{max} – максимальное значение температуры в камере, ºС;
$t_{сср}^{max}$ – максимальное значение температуры в середине блока, ºС;
Δt_h^{max}, Δt_l^{max}, $\Delta t_в^{max}$ – максимальное значение разности температуры по высоте, длине и ширине блока

Анализ результатов экспериментов по показателю энергоэффективности и прочности, разрешенной для кладки маловысотных стеновых конструкций (1,2 – 1,5 МПа), показывает значительные преимущества использования камеры со светопрозрачной крышкой и зеркальным концентратором солнечной энергии (рис. 4).

Поскольку данные показатели были достигнуты при ясной солнечной погоде, то в условиях облачности дополнением к этому варианту может стать реализация условий опыта № 4, т.е. оснащение камеры источниками тепловой энергии на ее боковых стенках.

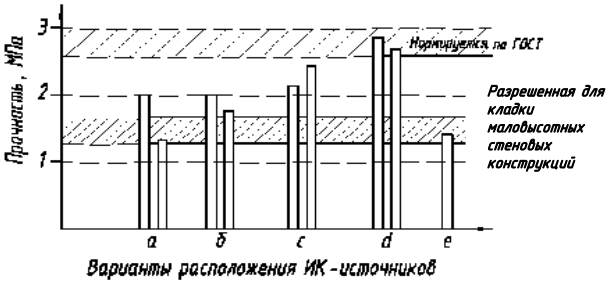


Рис. 4. График распределения температуры внутри блока и соответствующая ему прочность: *а* – источник ИК-нагрева под блоком; *б* – тоже с боковых сторон; *с* – тоже с верхней и нижней стороны блока; *d* – тоже с трех сторон; *е* – блок нагревается через светопрозрачную крышку от прямых солнечных лучей, отраженных от зеркального концентратора

Литература

1. Производство стройматериалов. Итоги 2010 года, прогноз на 2011 год // Новости строительной индустрии. Урал – Сибирь. –2008. – № 10 – 11 (77 – 78).

2. *Филин В.А.* Математическая модель расчета температуры бетонных изделий при ИК-облучении / В.А. Филин, Е.М. Дербасова, Р.В. Муканов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2011. – № 4 (16). – С. 67.

УДК 624.014

Т.В. Назмеева

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА СЖАТИЕ СТОЕК, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ ХОЛОДНОГНУТОГО СТАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

В испытательном центре Череповецкого государственного университета разработана методика проведения испытаний на сжатие стоек различной длины из холодногнутого стального С-профиля сплошного и перфорированного сечения, на основе которой проводятся экспериментальные исследования с целью получения достоверной методики расчета стоек.

Холодногнутый профиль, испытательный стенд, местная устойчивость, методика, датчик.

Methodology of testing of cold-formed members of different length made of C-shaped profile and C-shaped perforated profile is developed at the Research center of Cherepovets state university. The main aim of the research is to receive a reliable engineering methodology of their calculation.

Cold-formed profile, testing bed, local buckling, methodology, sensor.

Надежная работа любой строительной конструкции немыслима без понимания ее истинного поведения, как под эксплуатационной нагрузкой, так и без нее, на стадиях изготовления, хранения, транспортировки и монтажа. Осознание реального поведения конструкции и материла невозможно только при помощи теоретических методов – в основе изучения поведения любой строительной конструкции стоит эксперимент [5, с. 5].

По сути, *цель* проведения экспериментальных исследований – это выявление действительного поведения строительной конструкции и материала, из которого она изготовлена. Основная *задача* таких испытаний заключается в установлении соответствия между действительным поведением строительной конструкции и ее расчетной схемой.

В настоящее время в России применяется достаточно много различных строительных материалов и конструкций, для которых еще окончательно не решены вопросы прочности и долговечности в условиях российского климата, отсутствуют методики расчета и соответствующие нормативные документы с указаниями по проектированию и применению. К данному ряду можно отнести и технологию строительства зданий и сооружений из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК).

Легкие стальные тонкостенные конструкции – это конструкции на основе холодногнутого стального тонкостенного оцинкованного профиля толщиной до 3 мм. Профиль имеет открытое или закрытое сечение различной формы (С-образной, П-образной, Z-образной и т.д.) в связи с тем, что несущая способность элементов из холодногнутых тонкостенных профилей зависит не только от площади сечения