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.

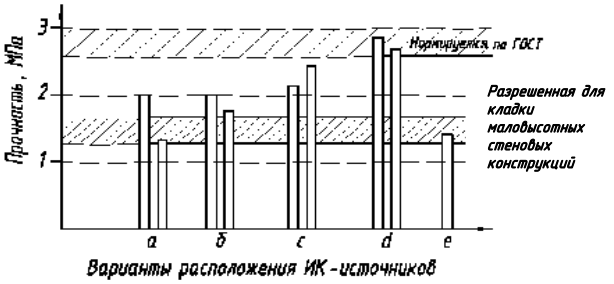


Рис. 4. График распределения температуры внутри блока и соответствующая ему прочность: *а* – источник ИК-нагрева под блоком; *б* – тоже с боковых сторон; *с* – тоже с верхней и нижней стороны блока; *d* – тоже с трех сторон; *е* – блок нагревается через светопрозрачную крышку от прямых солнечных лучей,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

данных элементов, но и от их конструктивных особенностей.

Свое развитие быстровозводимая технология каркасного строительства на основе ЛСТК ведет из США и Канады, а в настоящее время также широко применяется в странах Европы. Постройки, выполненные из ЛСТК, занимают значительную долю от общего объема жилого строительства: в Великобритании – 20 %, Швеции и Японии – 15 %, Канаде – 10%, в США – до 15 %. Малый вес несущего стального каркаса (в пределах 20 – 25 кг/м^2), быстрая окупаемость и высокая энергоэффективность зданий из ЛСТК делает их востребованными и в жилом малоэтажном строительстве, и в строительстве зданий промышленного и общественного назначения. Благодаря своим конструктивным особенностям, ЛСТК способны решить главные проблемы реконструкции зданий: снизить нагрузку на стены и фундаменты, осуществлять строительство в условиях тесной городской застройки без применения тяжелой грузоподъемной техники и без остановки технологического процесса в здании. ЛСТК применяются и при возведении так называемых «пассивных домов».

На данный момент в России наблюдается растущий спрос на ЛСТК. По данным Минрегионразвития в Российской Федерации объем строительства [3, с. 27] с применением ЛСТК на 2012 г. составил 2,51 млн. м^2 при общем объеме жилищного строительства 70,6 млн. м^2 при расходе ЛСТК 125,3 тыс. т, к 2019 г. эти показатели должны составить соответственно 11,69 млн. м^2, 106,5 млн. м^2, 584,3 тыс. т. Однако отсутствие национальных стандартов по ЛСТК с учетом российских особенностей приводит к тому, что данный материал применяеется на практике по конструктивным требованиям на основе рекомендаций фирм-производителей холодногнутого профиля [1, с. 12]. Таким образом, несущая способность ЛСТК используется неполностью, что приводит к необоснованному удорожанию зданий и сооружений из ЛСТК, и, как следствие, сдерживает широкое применение данных эффективных конструкций.

В настоящее время теория поведения тонкостенного профиля вполне проработана, широко известны работы В.З. Власова, С.П. Тимошенко, А.С. Вольмира и других ученых. Центр тяжести научно-исследовательской работы по ЛСТК сместился в область прикладных исследований поведения различных видов конструкций, выполненных из тонкостенного профиля (стоек, ферм, прогонов и т.д.), с целью разработки достоверных инженерных методик их расчета и проектирования. Проведение подобных исследований только численными методами в силу различных обстоятельств (граничные условия закрепления, начальные несовершенства и т.д.) весьма затруднительно – требуется проведение натурных испытаний.

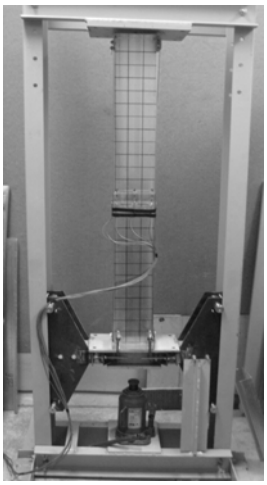
В европейских нормах EN 1993-1-3:2009; EN 1993-1-5:2006, созданных на основе широких экспериментальных исследований, отражены различные особенности поведения тонкостенных элементов на основе холодногнутого профиля. В российских строительных нормах (СП 16.13330.2011) расчет тонкостенных элементов не систематизирован, поэтому для развития собственной нормативной базы по ЛСТК также требуется проведение большого количества исследований с последующей их систематизацией, чему способствуют отдельные узконаправленные численные и экспериментальные исследования в лабораториях ВУЗов России. Следует отметить работы А.С. Семенова по изучению ферм, Катранова И.Г. и т.д.

В испытательном центре Череповецкого государственного университета при содействии «СПбГПУ» осуществляется научно-исследовательская работа по изучению ЛСТК. В частности, проводятся численные и экспериментальные исследования общей устойчивости и несущей способности стальных стоек из С-образного холодногнутого профиля, в том числе и составного сечения, работающих на сжатие. С-профили применяют в элементах каркасов зданий, ферм и т.д. По мнению ряда авторов, это наиболее рациональная форма профиля при различных деформациях, обладающая более высокой прочностью и устойчивостью по сравнению с другими видами профиля, например, швеллерным.

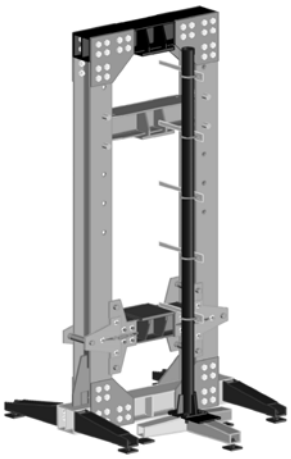
Для проведения экспериментальных исследований автором статьи были разработаны два испытательных стендовых комплекса С-12 (1200мм/20т) и В-50 (2200мм/50т) (см. рис. 1) для испытания образцов различной длины. Стендовое оборудование выполнено с учетом специфики поведения тонкостенных конструкций в реальных условиях, применяется соответствующее закрепление испытуемых образцов и схема приложения нагрузки. Данное оборудование не имеет аналогов в нашей стране.

Следует отметить, что в настоящее время в России отсутствуют методики проведения испытаний по ЛСТК, поэтому для экспериментальных исследований стоек из холодногнутого С-профиля автором статьи была разработана методика испытаний с учетом требований Еврокода [7, p. 97] при проведении испытаний ЛСТК и на основе рекомендаций Э.Л. Айрумяна, ведущего специалиста ЦНИИПСК им. Мельникова.

Американским исследователем Дж. Винтером в начале XX в. были широко исследованы изгибаемые балки [2, с. 214], было испытано более 150 балок с различными характеристиками. Винтер испытал также большое количество стальных стоек, но с целью, прежде всего, проверить формулы для совместно работающей ширины балок. Хаймерль, Хертель также проводили испытания стоек из алюминиевого профиля. Но достаточные испытания тонкостенных элементов из холодногнутого С-профиля на сжатие не проводились. Представляется также интересной и малоизученной совместная работа стоек составного сечения из холодногнутого профиля.



С-12 (1200 мм/20 т)



В-50 (2200мм/50 т)

Рис. 1. Испытательные стенды

В разработанной методике представлены ***основные составляющие*** экспериментального исследования:

– выбор соответствующих моделей в зависимости от цели испытания;

– выбор способов и средств приложения силовых нагрузок;

– выбор способов и средств измерения деформаций и перемещений при натурных испытаниях;

– проведение подготовительных операций, связанных с изготовлением моделей и стендов;

– проведение численного моделирования;

– непосредственно экспериментальные исследования;

– подготовка мероприятий по технике безопасности;

– обработка экспериментальных данных.

Основной частью программы испытаний является описание ***объекта испытаний***. В качестве объектов испытаний могут быть один или несколько элементов, часть конструкции, отдельные узлы или конструкция в целом в зависимости от выбранной методики испытаний [4, с. 359]. Основное требование к объектам – они должны повторять основные параметры конструкции (площадь поперечного сечения, характер опирания и т.д.).

Работа стоек предполагает работу на устойчивость. Особенность работы сжатых тонкостенных профилей заключается в том, что потеря несущей способности может наступить как в результате потери общей устойчивости элемента, так и в результате потери местной устойчивости элемента. Как правило, потеря местной устойчивости в сжатой зоне сечения происходит на ранних стадиях нагружения при уровне напряжений существенно ниже расчетных значений, но это не означает достижение профилем предельного состояния, сечение в целом остается работоспособным, имеет достаточный запас по несущей способности и может воспринимать внешнюю нагрузку. Потеря местной устойчивости учитывается использованием геометрических характеристик эффективного сечения, рассчитанных на основе значений эффективной ширины. Это закреплено в европейских нормах EN 1993-1-3:2009; EN 1993-1-5:2006, но в российских строительных нормах расчет тонкостенных элементов с учетом редуцированной площади сечения не имеет единой расчетной методики.

При центральном сжатии коротких стержней, для которых не существует опасности потери устойчивости, сопротивление их зависит от площади поперечного сечения и не зависит от формы сечения. Потеря местной устойчивости коротких тонкостенных элементов из холодногнутых профилей, как правило, связана с потерей устойчивости формы сечения, т.е. искажением поперечного сечения, что способствует потере несущей способности раньше потери наступления потери общей устойчивости. Поэтому конструктивные особенности холодногнутого профиля оказывают значительное влияние на несущую способность тонкостенных элементов. В связи с этим, С-профиль, имеющий краевые отгибы, обладает преимуществом по устойчивости и несущей способности.

С увеличением длины стоек основную опасность представляет потеря общей устойчивости, которая может иметь три формы: изгибную, крутильную, изгибно-крутильную, поэтому при изучении поведения сжатых стоек большую роль играет длина испытуемых образцов. Чем больше длина, тем более интересной, с исследовательской точки зрения, представляется работа образца. В связи с этим было разработано два испытательных стенда различной грузоподъемности для испытания стоек различной длины.

Работу тонкостенных элементов на устойчивость трудно оценить на малых моделях, поскольку сложно в малой модели имитировать те особенности натурной конструкции, которые оказывают в ряде случаев существенное влияние на величину критических усилий. Исследования устойчивости производят, как правило, до разрушения с целью изучения закритической работы и определения резервов несу-

щей способности при измерении напряженно-деформированного состояния системы, поэтому исследования целесообразно проводить на специальных испытательных установках – стендах. В ходе испытания на стендах объекты подвергаются действию нагрузок, сопоставимых или превышающих нагрузки в реальных условиях. Преимуществом испытаний на стенде является возможность оценки реакции объекта на специфические условия (предельные значения нагрузки, тип и величина нагрузки) при прочих фиксированных параметрах, что позволяет выявить скрытые конструктивные недостатки или резервы несущей способности конструкции.

Стенд, как правило, представляет собой жесткую раму, на которую опирается модель. Принципиальное отличие стенда от других видов испытательных машин (пресса, разрывные машины и т.д.) состоит в размере и форме испытуемого образца. Проводить испытания стоек на сжатие в обычных прессах представляется затруднительным, так как пресс не обеспечивает плавной подачи нагрузки и соответствующей высоты для установки образцов.

Основные требования к стендам – это безопасность и универсальность. В целях обеспечения безопасной и удобной работы во время проведения эксперимента стенд должен быть снабжен специальной страховочной платформой (под моделью), на которую после исчерпания несущей способности садится испытуемая конструкция, измерительные приборы должны, как правило, устанавливаться или над моделью, или под страховочной площадкой на специальных мостиках в целях защиты от повреждений. Универсальность стенда целиком или хотя бы его частей необходима для снижения затрат при проведении эксперимента. Под универсальностью подразумевается не только многократность использования стенда, но и возможность использования его для нескольких видов конструкций и/или силовых воздействий. Конструкция стенда – это строго индивидуальное изделие, единственное в своем роде, поэтому она должна быть предварительно запроектирована, а стенд должен быть выполнен в строгом соответствии с чертежами. Современные технологии позволяют создавать мощные машино-стенды, оснащенные сервоприводами и встроенными экстотензометрами, например, стенды фирмы BiSS Ltd Bengaluru Area, India.

Разработанный испытательный комплекс, представленный на рис. 2, представляет собой совокупность стенда, подсистемы нагрузки и контрольно-измерительной аппаратуры.

Существенное влияние на формирование методов и средств испытания конструкций оказывает характер изменения внешних нагрузок, действующих на строительные конструкции. Нагрузка к объекту испытаний может прикладываться сверху или подвешиваться снизу. В связи с особенностью работы тонкостенных стоек в данных испытаниях нагрузка подавалась снизу при помощи гидравлических домкратов, величина нагрузки контролировалась цилиндрическим тензодатчиком сжатия. Нагрузки прикладывались небольшими порциями, после каждого этапа нагружения выполнялось измерение деформаций и перемещений при помощи методов тензометрии.

В ходе исследования было испытано 20 стоек различного сечения. В табл. 1 представлены сечения образцов и их геометрические характеристики. Материал конструкций – сталь общего назначения. Этапы испытаний приведены в табл. 2.

Непосредственно экспериментальные исследования включали серию пробных и серию основных испытаний. Серия пробных испытаний первоначально производилась с целью отладки работы стенда, проверки работы измерительных приборов, мест установки датчиков, проверки способа закрепления самой конструкций и способов подачи усилий. После выполнения корректировок была произведена серия основных испытаний.

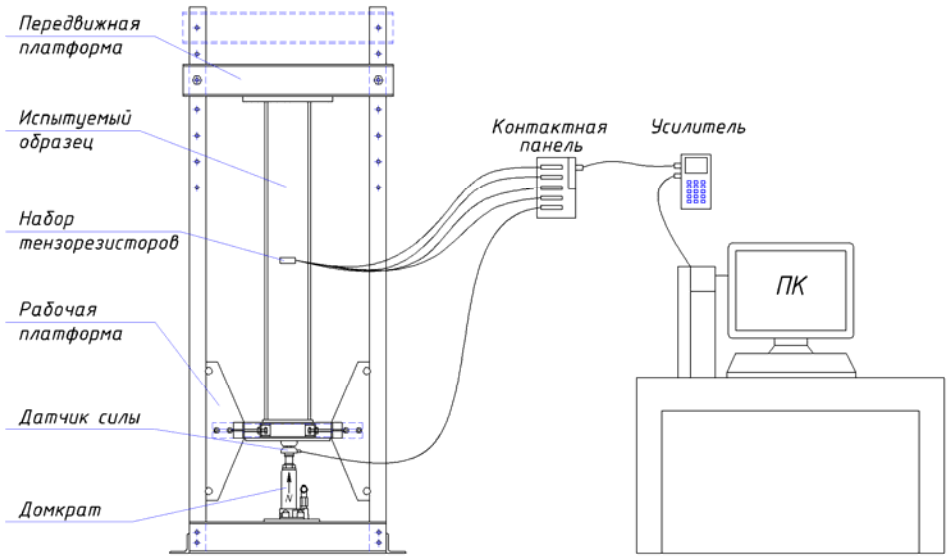


Рис. 2. Испытательный комплекс на базе стенда С-12

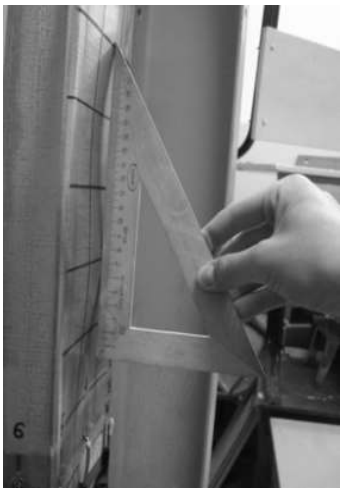
Таблица 1

Геометрические характеристики образцов

Сечение	H [мм]	t [мм]	Геометрические характеристики образцов								
			A	A_{ef}	I_X	W_X	I_Y	W_Y	r_X	r_Y	Z_O [см]
			[см^2]	[см^2]	[см^4]	[см^3]	[см$^{4]}$]	[см^3]	[см]	[см]	
С-150	150	1,5(1,42)	4,0	2,49	134,33	17,58	8,7	2,79	5,8	1,48	1,8
С-150	150	2,0(1,91)	5,32	3,74	179,1	23,48	11,77	3,8	5,8	1,49	1,63
С-200	200	1,5(1,42	4,74	2,49	266,3	26,28	8,7	2,79	7,5	1,35	1,8
С-200	200	2,0(1,91)	6,32	3,74	355,0	35,04	12,47	3,8	7,5	1,4	1,63

Таблица 2

Этапы эксперимента

		
Шаг 1	Шаг 2	Шаг 3
Потеря местной устойчивости	Потеря формы сечения	Общая потеря устойчивости

В данной работе применялись тензорезисторы и измерительное оборудование фирмы японской фирмы «Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.». Данные тензорезисторы имеют базу от 1 до 120 мм, диапазон рабочих температур от -20 ºС до +80 ºС, предназначены для установки на металл, дерево, бетон, стекло и т.д.; разработаны для различных исследований и подходят для изучения закритической работы оцинкованных профилей. Преимущество данного измерительного оборудования состоит в том, что результаты измерения с датчиков выводятся в цифровой форме на дисплее прибора, так как преобразование входных сигналов от первичных измерительных преобразователей (тензометрических датчиков) в цифровую форму посредством АЦП (аналого-цифровой преобразователь) и их дальнейшая обработка происходит внутри прибора. Для работы с датчиками и измерительным оборудованием автором статьи были получены соответствующие сертификаты обучения.

Во избежание погрешностей, связанных с релаксацией материала, отсчеты с измерительных приборов снимались достаточно быстро. В ходе проведения экспериментов выдерживалась комфортная температура в помещении для адекватной работы измерительного оборудования. После проведения экспериментов производилась обработка результатов измерений с учетом нелинейной работы материала с применением соответствующего программного обеспечения серии Visual LOG.

Экспериментальные исследования показали, что для заданного холодногнутого С-профиля потеря местной устойчивости наступает раньше потери общей устойчивости. Результаты данной работы будут использованы при составлении нормативных документов по проектированию ЛСТК в России.

Литература

1. *Айрумян, Э.Л.* Рекомендации по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации несущих стропильных конструкций «Талдом Профиль» из тонкостенных стальных оцинкованных профилей / Э.Л. Айрумян. – М., 2004.

2. *Брудка, Я.* Легкие стальные конструкции / Я. Брудка, М. Лубиньски ; под ред. С.С. Кармилова. – М., 1974.

3. *Жмарин, Е.Н.* Международная ассоциация легкого стального строительства / Е.Н. Жмарин // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2012. – № 2. – С. 27 – 30.

4. *Кузнецов, В.В.* Развитие металлических конструкций: Работы школы Н.С. Стрелецкого / [В.В. Кузнецов и др.]. – М., 1987.

5. *Лужин, О.В.* Обследование и испытание сооружений / [О.В. Лужин и др.]. – М., 1987.

6. *Brune, B.* Coupled instabilities of cold-formed steel members in minor axis bending / B. Brune, D. Ungermann // CIMS2008 Fifth International Conference on Coupled Instabilities in Metal Structures. – Sydney, Australia, 2008. – 23 – 25 June.

7. Eurocode 3. Design of Steel Structures. Hart 1.3. Supplementary rules for cold-formed thin gauge member and sheets. ENV. – 1996.

УДК 669.01/678

Т.О. Петрова, О.Г. Максимова, Я.А. Соловьева, А.Р. Байджанов, О.С. Баруздина, А.А. Настулявичус

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ PVDF ПОКРЫТИЯ

Работа выполнена и поддержана в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 гг.» (гранты № 14.B37.21.0075 и № 14.132.21.1701)

Исследованы свойства полимерных пленок на поверхности металлического листа с помощью метода Монте-Карло на трехмерной решеточной модели упорядоченной полимерной системы планарных ротаторов. Установлена зависимость пиковой температуры металла (ПТМ) от химической природы полимера, состава растворителя, скорости движения полосы металла в сушильной печи и других факторов.

Поливинилиденфторид, полимерные покрытия, энергия поверхностного натяжения, метод Монте-Карло, дефекты.

The paper investigates the properties of polymer films on the surface of the metal sheet and presents the results of computer simulations. The different surface defects of the polymer coatings applied to metal are examined and analyzed.

Polyvinylidenefluoride, polymer coating, energy of the surface tension, the Monte-Carlo method, defects.

Введение. В настоящее время изучение физико-химических характеристик моно- и полимерных пленок, например, термомеханических и диэлектрических, имеет не только теоретическое, но еще особое практическое значение. Они используются как адгезивы, мембраны, служат для защиты поверхностей, применяются в литографической промышленности [4], [7], [8].

В течение последних 30 лет мировой рынок металлопроката с полимерными покрытиями увеличился на 25 %. Так, например, основной тип производимой продукции цеха полимерных покрытий ОАО «Северсталь» – покрытия для строительных конструкций. Поэтому актуальным является направление, связанное с исследованием структуры поверхностей металлического листа с полимерными покрытиями для выявления причин появления дефектов продукции и разработки методов для их устранения [1], [3].

В промышленности активно используют комбинированное полимерное покрытие оцинкованного металла на основе поливинилиденфторида (PVDF), состоящее обычно из 70 % поливинилиденфторида и на 30 % – из акрила. Поливинилиденфторид обеспечивает исключительную стойкость к таким немеханическим воздействиям, как: выгорание, соприкосновение с водой, солями, щелочами или кислотами [10]. Полимерной пленке можно придавать практически любую форму, без какой-либо потери ее активности, механической прочности и ударостойкости.

При нанесении PVDF-покрытия на стальной лист используется специальное оборудование, с помощью которого можно контролировать необходимые условия для получения качественного покрытия, такие как температура, скорость валков и валиков, толщина слоя и др. На практике эти условия могут изменяться в соответствии с требованиями потребителя к производимой продукции. Однако при неправильном выборе условий и несоблюдении технологических режимов могут образоваться такие дефекты на поверхности изделия, как вздутия краски по краям, пузыри, полосы и пр. Важнейшие требования к покрытиям – прочное сцепление (адгезия) отдельных молекулярных слоев друг с другом, нижнего слоя с подложкой, твердость, прочность при изгибе и ударе.

Адгезия полимеров к твердым поверхностям является одним из основных факторов, определяющих свойства любых полимерно-композиционных материалов. В пластиках, армированных волокнами, адгезия на межфазной границе обусловливает совместную работу волокон и матрицы, возможность меж-