



УДК 621.791:62-112.81

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ТРУБ

Э. Ф. ГАРФ, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Пагона НАН Украины),
В. В. СНИСАРЕНКО, инж. (ОАО «Укрстальконструкция», г. Киев)

Разработка и применение сварных конструкций из труб неразрывно связано с совершенствованием сварки как технологического процесса соединения материалов и сопряжено с выполнением требований по обеспечению их качества и прочности. Показано, что Украина имеет многолетние традиции в области создания конструкций из труб и сохранила свой научный и производственный потенциал для развития этого направления в будущем.

Ключевые слова: сварка, сварные соединения, сварные конструкции, конструкции из труб, узловые соединения, прочность, устойчивость, экономические показатели

Сварка как технологический процесс получения неразъемных соединений создала предпосылки для эффективного использования труб в конструкциях самого различного назначения. Если традиционные сечения элементов (уголки, швеллеры и др.), широко используемые в сварных конструкциях, заимствованы из клепаных конструкций, то трубы — тип сечений, применение которых стало возможным и оправданным только благодаря сварке. В настоящее время трудно представить конструкцию из труб (трубопровод, башня или ферма), выполненную с использованием клепаных или болтовых соединений.

Вместе с тем сварные конструкции из труб в свою очередь выдвигают определенные требования к технологии сварки. Так, затруднительно создание эффективных конструкций без возможности получения стыковых соединений труб, равнопрочных основному металлу. Это вызывает необходимость иметь сварочные материалы, обеспечивающие такие свойства сварных соединений, которые не уступают свойствам основного металла в широком диапазоне классов стали, и технологии соединения, способные обеспечить высокое их качество не только при двусторонней, но и односторонней сварке. Благодаря современным достижениям в сварочном производстве эти задачи успешно решаются для разных классов стали и диаметров труб.

Расширение областей применения труб в сварных конструкциях связано с рядом преимуществ, которыми отличается данный тип сечения:

высокие и одинаковые во всех направлениях значения геометрических характеристик сечений таких, как радиус инерции и момент инерции, что позволяет эффективно использовать трубы в стержнях, работающих на центральное и внецен-

тренное сжатие, а также кручение. Это открывает возможности для более эффективного использования сталей повышенной и высокой прочности в стержневых конструкциях;

повышенная местная устойчивость стенок труб, обеспечивающая возможность использования тонкостенных сечений. Увеличение соотношения диаметра трубы к толщине ее стенки D/t ведет к повышению эффективности использования труб в сжатых элементах с позиций продольного изгиба, но может наступить момент, когда местная устойчивость будет определять их несущую способность. Для элементов из труб с отношением $D/t < 100$ при условии равномерного распределения напряжений по сечению не существует опасности потери местной устойчивости. Однако при неравномерном распределении напряжений по сечению, как это имеет место в бесфасоночных узловых соединениях труб, потеря местной устойчивости может происходить при $100 > D/t > 50$. На рис. 1 показана эффективность использования

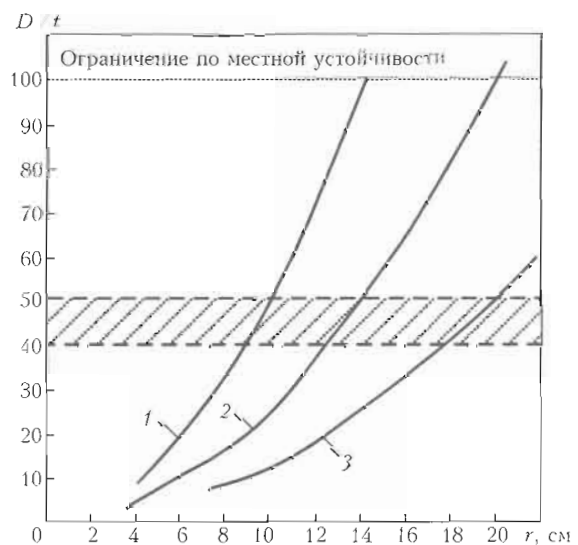


Рис. 1. Зависимость радиуса r инерции от соотношения D/t при площади поперечного сечения труб 50 (1), 100 (2) и 200 см^2 (3), область оптимального отношения D/t для трубчатых узлов заштрихована

трубчатых сечений в зависимости от их тонкостенности [1]. Как видно из рисунка, в решетчатых конструкциях, где в узловых соединениях всегда имеет место определенная неравномерность распределения напряжений по сечению трубы, оптимальным можно считать отношение $50 \geq D/t \geq 40$. Поскольку трубы отличаются наилучшей из применяемых в конструкциях обтекаемостью сечения, то такое отношение обеспечивает снижение ветровой и волновой нагрузки на сооружение, а следовательно, позволяет дополнительно уменьшить массу конструкции. Именно по этой причине мачтовые и башенные конструкции в большинстве изготавливают из труб, а в таких сооружениях, как морские стационарные платформы для добычи нефти и газа, другие профили для опорных блоков практически не используют; повышенная коррозионная стойкость, обусловленная относительно меньшей площадью поверхности, подверженной коррозии, доступностью поверхности для очистки и окраски, отсутствием в ней щелей пазух и карманов. Однако при этом необходимо принимать меры по обеспечению герметизации внутренних, не окрашиваемых поверхностей труб. Повышенная коррозионная стойкость позволяет снизить эксплуатационные расходы и увеличить срок эксплуатации сварных конструкций из труб;

эстетичность и архитектурное совершенство конструкций из труб, а также широкая номенклатура сортамента производимых промышленностью труб, способствуют их применению как

в малых архитектурных формах, так и в уникальных сооружениях.

Подтверждением целесообразности использования трубчатых сечений могут служить башенные конструкции. Для их эксплуатации характерны ветровые нагрузки, значительно превосходящие нагрузки от собственного веса и технологического оборудования, большая доля динамической составляющей в общем значении перемещений и усилий, а также и сильная зависимость реакции сооружения на основные воздействия от конструктивной формы и формы его элементов [2].

В таблице приведены данные о телевизионных башнях, построенных в бывшем СССР во второй половине прошлого века. Мы сознательно ограничиваемся сооружениями, построенными в СССР, поскольку при их проектировании использовалась общая нормативная база. Не вдаваясь в анализ особенностей конструкций и нагрузок, из данных таблицы можно сделать вывод о преимуществе применения трубчатых сечений в части расхода металла. Коротко остановимся на наиболее характерных сооружениях из труб.

Башня телецентра в Санкт-Петербурге была построена в 1962 г. (см. цв. вклейку, рис. 2). Впервые в практике строительства эта башня выполнена цельносварной, из трубчатых элементов. Несущая башня шестигранного сечения выполнена решетчатой с предварительно натянутыми трубчатыми раскосами. На ней установлен каркас технического здания, выше которого расположена этажерка из трех призматических секций квад-

Данные о телевизионных башнях

Город	Высота башни, м	Организация-проектировщик	Тип используемых сечений	Расход материала		
				прокат на башню, т	арматура для фундамента, т	бетон для фундамента, м ³
Киев	380,0 (с флагштоком 385,0 м)	УПСК	Трубы	2737,7	23,0	1066
Ташкент	375,0	ЦНИИПСК	Фасонный прокат, трубы	5800,0	Нет свед.	Нет свед.
Рига	368,0	ГСПИ Минсвязи СССР	Листовой профильный прокат	4500,0	» »	» »
Алматы	360,0	ЦНИИПСК	Сварные двутавры, фасонный прокат	4760,0	» »	» »
Санкт-Петербург	316,0	УПСК	Трубы	1300,0	21,8	1664
Ереван	311,7	То же	» »	1757,8	18,6	1269
Тбилиси	274,4	» »	Трубы, канаты	1242,5	31,5	1331
Витебск	243,9	» »	» »	628,0	32,6	260
Харьков	240,7	» »	Трубы, листовой прокат	1233,0	45,3	1080

Примечание. УПСК — Украинский проектный институт стальных конструкций (г. Киев); ЦНИИПСК — Центральный научно-исследовательский проектный институт стальных конструкций им. Н. П. Мельникова (г. Москва); ГСПИ — Государственный союзный проектный институт Министерства связи СССР (г. Москва).



ратного сечения. Трубы для башни изготовлены из низколегированной стали марки 15ХСНД. Узловые соединения крепления элементов решетки к поясам были решены с помощью торцевых листов — заглушек труб решетки, к которым приваривались листовые фасонки. На монтаже угловыми швами элементы решетки соединялись к поясам. При таком технологическом решении, несмотря на укрепление торцевого листа дополнительными ребрами, имеет место высокая концентрация напряжений на участках пересечения листовых фасонки с трубой раскоса. С целью ее снижения толщина торцевого листа заглушки принималась не менее $1/6$ диаметра трубы.

Следует заметить, что на момент проектирования башни исследования по выбору оптимальных конструктивных решений узловых соединений из труб, обеспечивающих минимальную концентрацию напряжений и максимальную прочность при статическом и циклическом нагружении, велись недостаточно широко. Дефицит данных частично был восполнен результатами исследований, выполненных в Институте электросварки им. Е. О. Патона [3, 4]. Тем не менее, после 40 лет эксплуатации в наиболее нагруженных узлах башни начали появляться трещины усталости, что потребовало тщательного контроля за техническим состоянием сооружения и своевременного ремонта выявленных повреждений.

В 1973 г. были построены башни телецентров в Киеве и Тбилиси. К этому времени исследования в области конструкций из труб получили дальнейшее развитие [5–7 и др.]. Их результаты подтверждали преимущества конструирования узловых соединений на основе непосредственного (бесфасоночного) примыкания трубчатых элементов.

Башня телецентра в Тбилиси отличается тем, что имеет несимметричную схему и воплощает идею совмещения несущих и ограждающих функций в одном из ее поясов (см. цв. вклейку, рис. 3). Вертикальный пояс башни, переходящий в антенну, является одновременно шахтой лифтов и поддерживается наклонными трубчатыми поясами, связанными с ним системой распорок из труб и раскосов из высокопрочных канатов. Выше отметки 71,0 м и ниже 163,8 м размещены технические здания. Угол между боковыми гранями башни в любом горизонтальном сечении составляет 60° . В большинстве узлов башни использованы принципы непосредственного примыкания труб, что обеспечило снижение уровня концентрации напряжений по сравнению с соединением труб через торцевой лист и фасонку.

Башню телецентра в Киеве (см. цв. вклейку, рис. 4) конструктивно можно разделить на три части: базу, решетчатый призматический ствол и шахту лифтов с антенной частью. База башни представляет собой решетчатую восьмигранную

обойму, к которой прикреплены пространственные четырехгранные «ноги». Решетчатый призматический ствол восьмигранного сечения зашпелен в верхней части обоймы базы.

Верхняя часть призматического участка этой башни несет каркас технического здания. Шахта лифтов опирается на фундамент у основания башни и проходит внутри решетчатого призматического ствола, а выше его переходит в антенную часть. Шахта лифтов и антенная часть сварены из стальных цилиндрических оболочек. Шахта лифтов крепится к стволу «лучевыми» диафрагмами.

В башне использован ряд новых современных и на сегодня решений. В частности, применена высокопрочная сталь марки ИЗ 138, узловые соединения в основном выполнены бесфасоночными, реализован способ монтажа подращиванием, что позволило обеспечить качественное выполнение сборочно-сварочных работ на монтажной площадке и сократить сроки строительства.

Последняя четверть прошлого века характеризуется повышенным интересом к использованию в сварных конструкциях труб. Формируется понимание того, что оптимальных весовых показателей можно достичь путем оптимизации сечений отдельных элементов конструкции и обеспечения прочности узловых соединений [8]. В ряде работ [9–12 и др.] доказываются преимущества конструирования узловых соединений на основе непосредственного примыкания труб, разворачиваются масштабные исследования по разработке методов расчета узловых соединений при статическом и периодическом нагружении. В рамках Международного института сварки регулярно проводятся научные конференции по сварным конструкциям из труб. Столь повышенный интерес к проблемам сварных конструкций из труб объясняется прежде всего интенсивным освоением мирового континентального шельфа и необходимостью широкомасштабного строительства морских стационарных платформ для добычи нефти и газа. Освоение глубин моря свыше 100 м, а особенно шельфа Северного моря с его суровыми климатическими условиями, вызывает необходимость оценки прочности морских стационарных платформ при циклических нагрузках, действующих на сооружение. Становится ясно, что прочность трубчатых конструкций при переменных нагрузках всегда определяется сопротивлением усталости узловых соединений. Особенности напряженно-деформированного состояния в зоне узловых соединений труб исключают возможность при оценке их долговечности использовать результаты испытаний на усталость сварных соединений плоских элементов. Для оценки сопротивления усталости трубчатых узлов необходима разработка специальных методов расчета усталости. В итоге эти исследования завершились раз-

работкой соответствующих методик оценки прочности узлов при статических и периодических нагрузках и включением их в нормативные документы по проектированию морских сооружений ряда развитых стран [13–15]. Интенсивно проводились исследования по указанным направлениям также и в бывшем СССР [16, 17 и др.], поскольку в этот период шло активное освоение шельфов южных морей (Каспийского, Азовского и Черного), велось строительство первых платформ на шельфе о. Сахалин и подготовка к освоению шельфа северных морей. Был создан ряд нормативных документов, регламентирующих проектирование морских сооружений [18–20].

В связи с распадом СССР и последовавшим экономическим кризисом, который охватил и Украину, строительство крупных сооружений было практически прекращено.

С началом подъема экономики в Украине стали возрождаться строительная индустрия, а также возрос интерес к сварным конструкциям из труб. Немалую роль в этом сыграло то, что успешно смогли преодолеть кризис ведущие в области проектирования металлических конструкций институты: ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского» (г. Киев), ООО «Институт «Шельф» (г. Симферополь) и др.

К числу уникальных сооружений, выполненных в последние годы с использованием цилиндрических труб, следует отнести завершающееся строительство навеса над трибунами стадиона в Днепропетровске. Проект разработан отделом новых типов конструкций ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского» (главный инженер проекта — канд. техн. наук И. Н. Лебедич) [21], а изготовление и монтаж конструкций осуществляет ОАО «Укрстальконструкция» (г. Киев). Общая масса металлоконструкций навеса составляет 1290 т.

Козырьковое покрытие над трибунами запроектировано в виде системы плоских решетчатых консольных ферм переменной высоты (см. цв. вклейку, рис. 5). Для ферм над трибунами вылет консольной части от опоры равен 27,0 м, хвостовой — 17,15 м. Для ферм над VIP корпусом вылет консольной части составляет 32,80 м, хвостовой — 14,0 м. Сортамент бесшовных цельнотянутых труб, используемых в конструкции навеса, включает сечения от 80×5 до 426×16 мм. Для поясов ферм использованы трубы сечением до 299×14 мм. Все трубы изготовлены на Нижнеднепровском трубопрокатном заводе из стали 20.

Узловые соединения трубчатых элементов приняты преимущественно бесфасоночными. Заводские стыки сварены на подкладном кольце. При монтаже с целью уменьшения объемов сварочных работ стыки сжатых элементов выполняли, как правило, на фланцевых соединениях с

использованием высокопрочных болтов, а для растянутых элементов были применены шкворневые соединения с соединительными втулками диаметром 124, 164 и 194 мм.

Еще одним примером удачного использования труб может служить покрытие Международного выставочного центра (МВЦ) в Киеве на Броварском проспекте, построенное в 2002 г. Металлические конструкции выставочного центра запроектированы ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского» (главный инженер проекта М. Н. Пальчик). Решетчатое покрытие в виде стропильных и подстропильных ферм и системы связей выполняют не только инженерные, но и архитектурные функции. Стропильные фермы пролетом 24,6; 30,0 и 48,0 м имеют криволинейный нижний и верхний пояса, подстропильные фермы пролетом 60,0 м — параллельные пояса (см. цв. вклейку, рис. 6). Для поясов и опорных раскосов ферм пролетом 60,0 м использованы толстостенные цельнотянутые трубы сечением 377×40 мм из стали 20, для других элементов решетки — трубы сечениями от 152×6 до 325×18 мм из той же стали. Исходные заготовки труб имеют длину 12 м. Все заводские стыки сварены на подкладных кольцах, монтажные стыки верхнего сжатого пояса выполнены также на подкладных кольцах, а нижнего растянутого пояса — на полумуфтах. Узловые соединения труб бесфасоночные, они имеют непосредственное примыкание элементов решетки к поясам.

Особенностью конструкции ферм является изготовление элементов пояса с патрубками элементов решетки в узлах. При монтаже каждый из элементов решетки соединяется с соответствующими патрубками узлов верхнего и нижнего поясов двумя стыками, которые выполняются с помощью двух фигурных полумуфт. Это существенно упрощает сборку конструкции на монтаже, снижает требования к точности изготовления заготовок, но вместе с тем ведет к увеличению расходов металла и сварочных материалов. При современном развитии сварочных технологий и материалов такие соединения выполняются односторонней сваркой с обеспечением обратного формирования сварного шва. Последнее достигается, например, при использовании отечественных электродов марки АНО-ТМ или выпускаемых в Японии электродов LB-524.

Изготовление конструкций МВЦ осуществлялось на Днепропетровском заводе металлоконструкций им. И. В. Бабушкина, монтаж выполняли специалисты ОАО «Укрстальконструкция» и «Центрстальконструкция» (г. Киев).

Примером эффективного использования труб в покрытиях промышленных зданий может служить построенный в 2004–2007 гг. в Киевской области цех ОАО «Ветропак Гостомельский стек-



лозавод» (см. цв. вклейку, рис. 7). Проект цеха разработан тем же авторским коллективом ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского». Трубчатые конструкции цеха изготовлены на Черниговском заводе металлоконструкций и металлооснастки. Монтаж конструкций выполнен ОАО «Укрстальконструкция» и ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского». Для ферм пролетом 42 м использованы бесшовные цилиндрические трубы из стали 20. Сечение поясов ферм составляет 219×8 мм, решетки — 152×6 мм. Узловые соединения выполнены путем непосредственного примыкания элементов решетки к поясу. Стыки труб верхнего сжатого пояса сваривали кольцевыми швами на подкладных кольцах, нижнего растянутого пояса — с помощью фигурных накладных полумуфт. Такое техническое решение, хотя и не является оптимальным с позиции расхода металла, но позволяет упростить сборку конструкций как в заводских условиях, так и на монтаже.

Перечень конструкций из труб, запроектированных и построенных в последнее десятилетие, был бы не полным без упоминания о сооружениях на континентальном шельфе.

Значительное количество сооружений на континентальном шельфе Украины спроектировано ООО «Институт «Шельф» — это в основном морские стационарные платформы, предназначенные для бурения и промышленной добычи нефти и газа с акваторий Азовского и Черного морей. За последние годы разработано более десятка крупных проектов, большинство из которых реализовано. Выбор конструкции платформ обычно осуществляется с учетом природно-климатических условий района строительства, наличия технических средств для монтажа и закрепления конструкций, возможностей предприятий, изготавливающих конструкции, способа транспортировки конструкций к месту их установки.

Следует заметить, что в Украине отсутствует мощное специализированное предприятие по производству морских сооружений, поэтому изготовление конструкций осуществляется на судостроительных заводах или специальных монтажных площадках, расположенных на берегу вблизи осваиваемого месторождения. Кроме того, для элементов конструкций приходится использовать трубы газового сортамента с относительно небольшой толщиной стенки и соотношением их диаметров к толщине стенки $D/t > 50$. В связи с этим при проектировании конструкций особое внимание необходимо уделять вопросам прочности узловых соединений из труб. Учитывая небольшие глубины Азовского моря и осваиваемых в настоящее время месторождений в Черном море можно обходиться без специальных труб, предназначенных для морских платформ с толщиной

стенки 30...40 мм. Освоение месторождений на глубине моря свыше 100 м потребует изготовления специальных труб или их заделки за рубежом.

Эффективность использования труб в сварных конструкциях во многом зависит от технологии их производства. Одним из трудоемких процессов изготовления конструкций из труб является прирезка концов элементов и последующая их сборка в узлах. Эти технологические операции существенно упрощаются при использовании современных машин для газокислородной резки труб.

В Украине только две организации (ОАО «Укрстальконструкция» и ОАО «УкрНИИпроектстальконструкция им. В. Н. Шимановского») имеют машины для резки труб с шестикоординатной цифровой системой управления — Tubosec «С» марки RM 631-1500-5T (производство фирмы «Messer Griesheim», Германия). Эти машины по заданной программе осуществляют прирезку концов труб в зависимости от соотношения диаметров примыкающей и основной трубы, угла наклона и толщины стенки примыкающей трубы. При этом одновременно выполняется и разделка кромок под последующую сварку. Диаметр труб, для резки которых может использоваться указанное оборудование, составляет 80...1500 мм, длина — 700...10000 мм, максимальная масса обрабатываемой трубы — до 5000 кг. Такие параметры труб позволяют использовать их в широкой номенклатуре сварных конструкций — от легких ферм до сооружений морских стационарных платформ.

Машинная резка за счет высокой точности поверхностей кромок реза дает возможность достичь экономии расходов при последующей сварке в пределах 10...20 %. Экономические преимущества ее использования при изготовлении сварных конструкций из труб настолько существенны, что амортизация капиталовложений обеспечивается при односменной работе и 60%-й загрузке машины.

Приведенный обзор не охватывает в полной мере весь спектр сварных конструкций из труб, изготовленных в Украине или с участием украинских организаций, в том числе и за последние годы. К таким конструкциям могли быть отнесены также пешеходные переходы через автомагистрали и другие конструктивные решения, созданные за последнее время.

Вместе с тем, приведенные данные свидетельствуют, на наш взгляд, о технических возможностях Украины как в части проектирования, так и изготовления ответственных сооружений с использованием цилиндрических труб. Это приобретает особое значение в связи с предстоящей реализацией проекта нового безопасного конфайнмента для Чернобыльской АЭС, представляющего собой пространственную систему, основными несущими элементами

которой являются арки пролетом 150 м, состоящие из трубчатых элементов. Проектным и научно-исследовательским институтам Украины вполне по силам разработать надежную конструкцию укрытия, а промышленным предприятиям и организациям изготовить трубы необходимого сортамента, создать конструкции из них и осуществить их монтаж.

Выводы

1. Благодаря имеющемуся научному потенциалу, значительному опыту ведущих проектных институтов и производственной базе, оснащенной достаточно современным оборудованием и технологиями, в Украине имеются все условия для широкого использования цилиндрических труб в сварных решетчатых конструкциях различного назначения.

2. При проектировании и изготовлении сварных конструкций гражданского и промышленного назначения из труб далеко не всегда используются оптимальные соотношения параметров труб и конструктивные решения стыковых соединений, что вызвано стремлением упростить их изготовление, однако приводит к перерасходу стали и сварочных материалов. Не уделяется должного внимания использованию в конструкциях из труб сталей повышенной и высокой прочности.

3. Определенным сдерживающим фактором использования труб в конструкциях является отсутствие национальной общестроительной нормативной базы, отражающей особенности проектирования трубчатых конструкций, а при проектировании морских сооружений отсутствует нормативная база, регламентирующая расчет их устойчивости.

1. *Гарф Э. Ф.* Особенности проектирования металлических конструкций из труб // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. — 2003. — № 4. — С. 11–17.
2. *Сварные строительные конструкции* / В. Н. Шимановский, Э. Ф. Гарф, В. А. Пермяков и др. — В 3 т. — Т. 2: Типы конструкций / Под ред. Л. М. Лобанова. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1997. — 680 с.

3. *Новиков В. И., Ковтуненко В. А.* Прикрепление трубчатых элементов решетки к узловым фасонкам // Автомат. сварка. — 1959. — № 4. — С. 3–13.
4. *Новиков В. И., Ковтуненко В. А., Шумицкий О. И.* Некоторые вопросы проектирования и сооружения цельносварной башни // Там же. — 1963. — № 5. — С. 69–74.
5. *Новиков В. И., Ковтуненко В. А.* Прочность и расчет сварных бесфасоночных узлов // Там же. — 1969. — № 9. — С. 70–71.
6. *Hlavacek V.* Strength of welded tubular joints in lattice girders // *Costruzioni Metalliche*. — 1970. — № 6. — P. 521–529.
7. *Experimental study on the strength of thin wall welded tubular joints* / T. Nakajima, K. Ishimazu, M. Shimizu et al. — S. I., [1971]. — 41 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XV-312–71).
8. *Marshall P. W.* Connections for welded tubular structures // *Welding of tubular structures*. — Oxford: Pergamon press, 1984. — P. 1–57.
9. *Marshall P. W., Toprac A. A.* Basis for tubular joint design // *Welding Res. Supplement*. — 1974. — May. — P. 1923–2013.
10. *Pan R. B., Plummer F. B., Kuang J. G.* Ultimate strength of tubular joints // *J. Petrol. Technol.* — 1977. — 29, Apr. — P. 449–460.
11. *Kurobane Y., Makino Y., Mitsui Y.* Ultimate strength formulae for simple tubular joints. — S. I., [1976]. — 31 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XV-385–76).
12. *Study of strength and design of cylindrical tubular welded connections at static loading* / E. F. Garf, V. I. Novikov, A. E. Litvinenko, L. Ya. Yurko // *Welding of tubular structures*. — Oxford: Pergamon press, 1984. — P. 359–372.
13. *BS 6235.* Code of practice for fixed offshore structures. — Filed 28.09.84.
14. *API RP 2A.* Recommended practice, for planning, designing and constructing fixed offshore platform. — Введ. Jan. 1983.
15. *Rules for the design construction and inspection of offshore structures*. — Введ. 1985.
16. *Решетников Б. Н., Ривкин А. М.* Результаты испытаний моделей стропильных ферм из высокопрочных труб // Пром. стр-во. — 1971. — № 1. — С. 31–35.
17. *Гарф Э. Ф., Таирли З. М.* Статическая прочность сварных трубчатых узлов при сложном нагружении // Азерб. нефт. хоз-во. — 1988. — № 10. — С. 48–53.
18. *ВСН 51.3–85.* Проектирование морских стационарных платформ. — Введ. 01.01.85.
19. *ВСН 51.4–85.* Бесфасоночные узлы конструкций из труб морских нефтегазопромысловых сооружений. Методика расчета прочности. — Введ. 03.06.85.
20. *ВСН 41.88.* Проектирование ледостойких стационарных платформ. — Введ. 03.01.89.
21. *Лебедич И., Козьявкин И.* Конструкции стадиона «Металлург» в Днепропетровске // А+С. — 2007. — № 1. — С. 160–164.

Widening of application of welded structures made from tubes is inseparably linked with improvement of welding as a technological process for materials joining, and involves fulfilment of requirements for assurance of quality and strength of the welded joints. It is shown that Ukraine has many-year traditions in the field of fabrication of structures from tubes, and that it has preserved its scientific and industrial potential for further development of this field.

Поступила в редакцию 17.01.2008