



**НИЦ строительство**  
научно-исследовательский центр



**ЦНИИСК**  
ИМ. В.А. КУЧЕРЕНКО

# ДОКЛАД

««ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ  
СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ В РФ»»

**д.т.н., проф. Ведяков И.И.**



В условиях возрождения экономики нашей страны происходит небывалый рост строительства производственных зданий с новейшими технологиями, учебных комплексов для развития науки в ВУЗах, зданий и сооружений культуры, выставочных центров, испытательных полигонов для техники, стадионов современного олимпийского уровня, высотных зданий различного назначения, строительных комплексов в условиях Крайнего Севера. Металлические конструкции представляют собой наиболее востребованный материал в силу легкости, возможности быстрого монтажа, высокой прочности и хорошо налаженной технологии проката, а также других полезных качеств.

Наряду с этим быстро меняющиеся условия эксплуатации требуют от специалистов всех уровней непрерывного совершенствования металла, изделий из него, конструктивных элементов, способных воспринимать возрастающие нагрузки совместно с примыкающими конструкциями. Усложняются схемы их работы, влекущие за собой изменения принципов проектирования и расчета. Одновременно часто увеличиваются нагрузки на сопряжения, что приводит к необходимости применять толстый прокат.

3

В свою очередь усложняются условия сварки и принципы защиты конструкций от коррозии. Становятся необходимыми новые экспериментальные исследования.

## **Данные проблемы решаются за счёт развития научных исследований в следующих основных направлениях:**

- развития методов расчёта и конструирования строительных металлических конструкций;
- создание новых форм конструкций;
- исследование работы сталебетонных конструкций в экстремальных условиях эксплуатации;
- разработка стандартов, отражающих новейший уровень инновационных технологий, а также норм проектирования и изготовления металлических конструкций, базирующихся на новейших достижениях в области расчёта и проектирования;

- разработка и применение сталей высокой прочности нового поколения и эффективных профилей в несущих конструкциях;
- разработка методов научно-технического сопровождения при возведении уникальных конструкций и реконструкции старинных зданий.



## Остановимся на некоторых результатах этих направлений.

Новые достижения металлургии, находящейся на современном мировом уровне, привели к разработке в 2011-2017 годах новой редакции ГОСТ 27772-2015 на толстолистовой и фасонный прокат для строительных конструкций, а также впервые разработанные стандарты на электросварные прямошовные трубы для строительных конструкций и двутавровые балки с параллельными гранями полок.

Строителям такие стали начали поставлять после освоения в стране станов «5000» по специальным техническим условиям, разработанным **ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко** совместно с ЦНИИЧМ и металлургическими комбинатами.

**ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко** совместно с Челябинским трубопрокатным заводом были разработаны технические условия на трубы для уникальных металлических конструкций, в том числе для эксплуатации в сейсмоактивных районах, а также районах Крайнего Севера.

Из таких труб изготовлены конструкции футбольного стадиона в г. Самаре: консоль длиной более 100 м. Все эти разработки учтены при составлении стандарта на трубы для металлических конструкций (выход стандарта – 2017 г.), в котором предусмотрены поставки труб  $\sigma_T = 690 \text{ Н/мм}^2$ .

При возведении зданий с металлическим каркасом эффективным оказалось применение крупных двутавровых профилей с параллельными гранями полок. Такие профили традиционно выпускались на заводе «Arcelor Mittal» (Люксембург) для стальных каркасов высотных зданий. В результате совместной работы института и завода были разработаны варианты двутавров Histar 355 Russia и Histar 460 Russia для применения в условиях России (с гарантированным KCV<sup>-40</sup>).

8

Прокат производится по технологии ТМО в потоке стана с охлаждением водой со скоростью 80-100 °C/с. Выпускаются балки с толщиной полки 80-140 мм, такой прокат, в частности, широко использован при строительстве высотного здания «Лахта -Центр» в г.Санкт-Петербурге.



Серьезную работу по выпуску такого проката ЦНИИСК провел совместно с комбинатом «ЕвразНТМК», итогом которой явилась разработка нового ГОСТ 27772-2015, где впервые нормируются стали С390 и С440.

Таким образом, новая редакция свода правил СП 16.3330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*» опирается на новые стандарты на стали, производимые по новейшим технологиям с очень высокими эксплуатационными свойствами, что будет способствовать обеспечению надежной работы металлоконструкций.

## **Современные здания «Лахта-Центр» и «Ахмад» в г. Грозном строятся с существенным замещением иностранных сталей:**

- здание Башня Многофункционального комплекса «Лахта - Центр» (рис.1) имеет высоту 467 м и 88 этажей со шпилем;

общий расход стали на сооружение высотной части комплекса (башни) составляет 24 790 тонн, при этом применение иностранной стали не превысило 25%;

- здание Башни «Ахмад» (рис.2) имеет высоту 435 метров и 102 этажа с навершием;

общая площадь башни – 216 000 м<sup>2</sup> без учета примыкающей стилобатной части и парковки;

сейсмичность площадки строительства 8,4 балла;  
общий расход стали на сооружение высотной части  
комплекса (башни) составляет 79 700 тонн, что  
составляет около 370 кг/м<sup>2</sup>;  
применение иностранной стали в проекте Ахмад  
составляет почти 40%, что по нашей оценке довольно  
МНОГО.



*Рис. 1. Башня «Лакhta-Центр»*



*Рис. 2. «Башня «Ахмад»*

# **Здания со стальным каркасом массового применения**

Существует устойчивый миф о том, что для зданий гражданского назначения (жилых, административных, офисных) применение стального каркаса не эффективно, не рационально, а в некоторых случаях и невозможно.

12

Во времена СССР применение стали для объектов «не промышленного» назначения было запрещено, поэтому рядовой советский проектировщик попросту не знал, каким образом проектировать гражданский объект с использованием стальных каркасов.

Широкое применение стали в промышленном секторе во времена СССР привело к тому, что сортамент фасонного проката – двутавры, швеллеры, уголки, трубы – были «адаптированы» для проектирования именно промышленных зданий. В 2014-2016 году Институт совместно с АРСС и ЕВРАЗ провел масштабную работу по усовершенствованию современного фасонного проката для более удобного его применения в конструкциях гражданских зданий – в перекрытиях и колоннах. В результате работы был предложен сортамент основой которого стал существующий сортамент СТО АСЧМ 20-93, который был значительно расширен на 212 новых профилей, геометрические размеры которых подобраны с учетом тенденций развития теории сортамента.



Предложенные в национальном стандарте стали также учитывают достижения мировой и отечественной металлургии и учитывают возможности импортозамещения и экспорта, так как гармонизированы с Еuronormами.

Пробные расчеты и проектирование конструкций, а также данные экспериментального проектирования некоторых «пилотных» проектов показали, что **выявляется возможность замещения большого количества сварных профилей на профили по ГОСТ Р**, что не удастся выполнить, используя «старый» сортамент СТО АСЧМ 20-93, который имеет меньшее количество профилей.

Для жилых зданий высотой 8 и 18 этажей, а также офисных зданий высотой 24 и 48 этажей удалось запроектировать стальной каркас по ГОСТ Р вообще без использования сварных элементов. ГОСТ Р позволяет подбирать оптимальные сечения профилей с максимальным коэффициентом использования сечений и соответственно более экономично расходовать сталь (до 4,8% при использовании стали класса прочности не выше С355) за счет большего количества профилеразмеров. При использовании в конструкциях стали повышенной прочности С440 в сравнении со сталями С255...С355 эффект экономии стали увеличивается и составляет для рассматриваемых примеров зданий до ~12% в общей массе. Также ГОСТ Р имеет большую гибкость в части подбора сечений конструкций примерно равной несущей способности, но в разных габаритах по высоте (например, конструкцию из профилеразмеров с литерами 25, 30, 35, 40).

**Эффект от применения новых сталей** С390, С440 по ГОСТ Р наблюдается при проектировании колонн многоэтажных зданий, а также элементов большепролетных конструкций. Установлено, что в случае замены стали С255 на С440 «смещение» в сторону более легкого профиля из более прочной стали в рамках одного размерного ряда составит 1...5 литер, а при замене сталей С355 на С440 не более 2 литер. При этом для малых размерных рядов (15К, 20К) эффект от замены стали на более прочную минимален, а для случая сравнения профилей из сталей С255-С390 практически отсутствует. Наиболее эффективна замена стали в профилях крупных сечений 25К, 30К, 35К, 40К, но даже в этом случае «смещение» в сторону более «легкого» профиля составляет не более 5 литер (40К14 (С440) заменяет 40К19 (С255)).

Рационально заменять профили из сталей С255, С345, С355 на более «легкие» профили из сталей С390, С440 на стадии проектирования конкретных объектов.

Новый прокат, в том числе с использованием сталей до С440, внедрен в строящемся Офисно-деловом центре ЖК Ривер парк (Нагатинский затон, Москва).

Здание (рис.3) представляет из себя комплекс из трех 18-этажных башен с одноэтажным стилобатом, в котором функционально объединены торговые и офисные помещения (на 1 этаже), а также комплекс апартаментов в высотных частях. Высота комплекса – 65 м, общая площадь – около 30 000 м<sup>2</sup>.

При проектировании было выполнено технико-экономическое сравнение в результате которого было установлено, что применение стальных повышенной и высокой прочности позволяет уменьшить габариты колонн, а также снижает общий вес стали конструкций на 12%. Кроме того, был запроектирован альтернативный вариант с монолитным железобетоном, который показал примерно равную стоимость запроектированным стальным каркасом.

18



Следует отметить, что в монолитном варианте на 27% увеличилось количество забивных свай (с 1300 на 1650 шт).

*Рис. 3. Общий вид комплекса*



Общая металлоемкость объекта – 2 900 тонн, что составляет около 95 кг/м<sup>2</sup> с учетом тяжелых конструкций консольных и перехватных ферм 2 этажа. Многоэтажные части имеют металлоемкость не более 52 кг/м<sup>2</sup>, при этом подчеркивается возможность свободной планировки офиса/апартамента с любым материалом перегородок, а также неограниченные возможности объединения офисов/апартаментов в пределах этажа без ущерба для несущей способности здания.

Примером долголетней успешной эксплуатации зданий со стальным каркасом могут являться «сталинские» высотки (с 1955-х), ЦМТ в Москве (с 1979 г.), а также ДВФУ на о. Русском (с 2011 г.) и многие другие.

Развитие конструкций массового применения типа ЛСТК позволило решить вопросы ускоренного строительства зданий и сооружений.

В настоящее время применение ЛСТК в России в большинстве случаев ограничивается малоэтажными жилыми зданиями высотой до 4-х этажей и промышленными строениями. При этом в странах Запада технология ЛСТК применяется длительное время и распространена практически повсеместно. На основе иностранного опыта можно отметить, что применение легких стальных конструкций возможно и целесообразно даже при строительстве зданий высотой более 10 этажей.

Сейчас же холодногнутые тонкостенные профили в России применяются в качестве несущих конструкций при строительстве зданий высотой до 6 этажей. При строительстве более высоких зданий ЛСТК могут рассматриваться в качестве ограждающих конструкций при несущей системе здания из черного каркаса или железобетона.

В качестве примера многоэтажного строительства на основе ЛСТК можно отметить многоквартирный дом, высотой в шесть этажей (рис. 4), построенный в д. Кривское вблизи г. Обнинска. Указанное здание построено по технологии СТИЛТАУН, разработанной компанией "Андромета".



*Рис. 3. Многоквартирный дом*

**ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко** принимал участие в разработке конструктив-ной схемы зданий по названной серии. Каркас зданий выполняется из С-образ-ных холодногнутых оцинкованных профилей. Теплоизоляция может выпол-няться пенобетоном по несъемной опалубке, либо сухим способом - негорючими теплоизоляционными материалами. Существование указанного здания хорошо подтверждает перспективность многоэтажного строительства на основе ЛСТК.



Одним из самых крупных и технически сложных типов зданий, строящихся по технологии ЛСТК, и вместе с тем одним из наиболее инновационных типов логистических систем, являются высотные автоматизированные стеллажные склады (рис. 5).



*Рис. 5. Высотный автоматизированный стеллажный склад*



Склад называют высотным стеллажным если многоярусные стеллажи служат одновременно несущей конструкцией кровли и стен. Как правило, эти здания проектируются высотой до 50-ти метров с многоярусными системами хранения и интегрированными в конструкции кранами-штабелерами.

Одной из ключевых причин, сдерживающих применение ЛСТК является отсутствие, либо несовершенство соответствующей нормативной базы. 24

В отношении высотных складов можно заключить, что нормы пожарной безопасности, действующие в России, отстают от современных тенденций складирования груза и средств по его защите.

При отступлении от учитываемых нормами параметров склада высотного стеллажного хранения в соответствии с требованиями ч.2 ст.78 ФЗ-123, разработке проектной документации должны предшествовать разработка и согласование в установленном порядке специальных технических условий в части обеспечения пожарной безопасности (СТУ), содержащих требования по проектированию автоматических установок пожаротушения.

25

В целом, в отношении возможностей, расширяющих применение технологии ЛСТК можно иметь в виду следующие направления развития:

1. Для развития многоэтажного строительства на основе ЛСТК необходимо совершенствовать технологии в том числе модульного строительства.

2. Для высотных автоматизированных стеллажных складов, построенных по технологии ЛСТК, представляется перспективным создание специальных норм, рекомендаций и руководств, которые всесторонне учитывали бы специфику обеспечения пожарной безопасности, возведения, проектирования, расчета и эксплуатации такого типа логистических систем.

3. На основании накопленного материала по результатам испытаний узловых сопряжений и самих элементов необходимо разработать инженерную методику оценки жесткости узлов, определить правила проектирования соединений в условиях сейсмики, а также получить кривые устойчивости для тонкостенных элементов в том числе для случаев сложной геометрической формы последних.

4. Необходимо разработать специальные руководства, регламентирующие правила проектирования каркасов ЛСТК с алгоритмами по конструированию и выбору оптимальных параметров несущих конструкций, а также актуальные технологические требования.

27

- **Развитие методов** расчёта и конструирования можно наглядно продемонстрировать на строительстве стадионов к **чемпионату мира по футболу ЧМ-2018 в России.**





Рис. 6. Стадион «Казань Арена»



Рис. 7. Стадион «Ростов Арена»



Рис. 8. Стадион «Мордовия Арена»



Рис. 9. Стадион «Волгоград Арена»





Рис. 10. Стадион "Нижний Новгород"



Рис. 11. Стадион «Самара Арена»



Рис. 12. «Стадион Калининград»

**Разнообразие архитектурных форм потребовали проработки многообразных проблем, которые были завершены успешным строительством.**

Анализ конструктивных решений стадионов ещё должен быть продолжен, однако показатели уже известны: данные по расходу стали приведены в таблице 1.

Таблица 1

Стадион	Количество зрителей	Форма плана Размер, м	Расход металла, т	
			Общий	В т.ч. трубы
«Казань Арена»	45000	Круг Ø 250	9150	4550
«Ростов Арена»	45000	Овал 257x218.5	6350	500
«Мордовия Арена»	45000	Овал 228x210	6600	4600
«Волгоград Арена»	45000	Круг Ø 290	5800	380 Вантовая система
Стадион "Нижний Новгород"	45000	Овал 244x207	10500	-
«Самара Арена»	45000	Круг Ø 300	13260	9640
«Стадион Калининград»	35000		4500	690

Видно, что расходы сталей на 1 м<sup>2</sup> покрытия изменяются от 150 до 550 кг/м<sup>2</sup> только за счет разницы конструктивных решений, т. е. экономика строительства, даже с учетом его места, изменяется существенно при одном и том же функциональном назначении.



Структура профилей и сортамента в качестве примера приведена в таблице 2 для «Стадиона Калининград».

Таблица 2

Наименование профиля ГОСТ, ТУ	Общая масса по подтрибунной части стадиона, т	Общая масса по покрытию, т	Всего по стадиону, т
Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок по СТО АСЧМ 20-93	5587.48	187.23	5774.71
Профили стальные гнутые замкнутые сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций по ГОСТ 30245-2003. Технические условия.	98.14	697.04	795.18
Сталь листовая горячекатаная по ГОСТ 19903-74*	9892.56	3591.80	13484.36
Итого, т	15578.17	4476.07	20054.24
Итого с учетом вспомогательных конструкций, т			22615.84

**Развитие нормативной базы проводится ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко** в соответствии с достигнутыми результатами по разработке новых материалов, профилей, методов расчёта, технологий и т.д.

33

**В 2016-17 годах были разработаны:**

– новая редакция свода правил на стальные конструкции: Свода правил СП 16.13330.**2017**  
«Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*»;

\* в частности, внесены изменения в раздел 13.3, касающиеся сварных соединений элементов из толстого проката в части предотвращения слоистых разрушений.



– впервые введен Свод правил СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования», где в разделах 4 и 7 разъясняются особенности расчета стальных конструкций, в частности пространственных, с учетом нелинейных деформаций.

34

\* кратко смысл учета пластических деформаций при расчете центрально сжатых (растянуты), внецентренно сжатых, сжато-изгибаемых и изгибаемых элементов заключается в использовании коэффициентов повышения расчетных сопротивлений, определенных на основании экспериментальных исследований и представленных в таблицах для различных случаев нагружения.

В СП 294.1325800.2017 приведены подробные разъяснения и примеры расчетов к Своду правил СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*».

В связи с проектированием и строительством довольно многочисленных стадионов и других уникальных большепролетных конструкций в Своде правил СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования» дан специальный раздел «Структурные конструкции покрытий из прокатных профилей»; приводятся подробные указания по расчету и конструированию этих ответственных сооружений.

Также в СП 294.1325800.2017 «Конструкции стальные. Правила проектирования» даны разделы: «Расчет стальных рам как единых нелинейных систем» и «Многоэтажные и высотные здания», здесь нашли отражение достижения последнего двадцатилетия.

Опыт возведения многочисленных уникальных сооружений, элементы которых работают в сложных напряженных состояниях, требует введения в нормы специальных расчетов на ЭВМ с учетом нелинейной работы с применением новых критериев прочности или указаний по использованию существующих, но не нашедших пока достойного применения.

Размещение указаний и руководств по расчетам на ЭВМ в нормах приведет к коренному пересмотру системы нормативных документов в строительстве, подобных пересмотру норм 50-х годов XX века.

В общем виде возможности расширения применения стальных конструкций связаны с результатами исследований их действительной работы с целью повышения их эффективности, надёжности и долговечности.

*\* такие исследования требуют значительных затрат на их проведение.*

**СПАСИБО  
ЗА  
ВНИМАНИЕ**