

чистовым блоком для производства катанки от 5,5 до 20 мм. Все пролеты прокатного цеха обслуживаются электромостовыми кранами. Схема расположения оборудования прокатного стана и МНЛЗ представлена на рисунке.

Расположение оборудования на отм. +5,0 м позволяет максимально использовать площади на отм. 0,0 для размещения технологических тоннелей, трубопроводов, оборудования гидравлики и прочих вспомогательных помещений без значительных затрат на сооружение подземных помещений, а также осуществлять уборку скрапа наземным транспортом (погрузчиками).

Отгрузка готового проката со склада готовой продукции осуществляется железнодорожным транспортом.

### Выводы

Осуществление реконструкции позволит сократить капитальные затраты на строительство за счет следующих мероприятий:

- использования существующих пролетов сталелитейного цеха;
- частичного использования существующего кранового оборудования;
- расположения оборудования на отм. +5,0 м, что позволит использовать площади на отм. ±0,0 для технологических тоннелей, трубопроводов, оборудования гидравлики и смазки, а также осуществлять уборку скрапа наземным транспортом.

Установка нового современного оборудования обеспечит производство конкурентоспособной продукции широкого сортамента для потребностей стройиндустрии данного региона.

### Библиографический список

1. Синельников В.А. Технологическая концепция создания энергосберегающих совмещенных процессов на переделе сталь-прокат // Сталь. – 1999. – № 6. – С. 75–78.
2. Целиков Н. А. Перспективы развития металлургических мини-заводов в России (по материалам совещания) // Сталь. – 1999. – № 6. – С. 58–60.
3. Использование современных технологий при строительстве новых и реконструкции существующих прокатных цехов, направленных на энерго- и ресурсосбережение / В.С. Арих, В.Ю. Кулак // Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов: сб. науч. статей XV Международной научно-практической конференции, 4–8 июня 2007 г., г. Щелкино, АР Крым: в 2 т. Т. 1 / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Харьков: САГА, 2007. – С. 148–151.

Поступила 25.11.2013

УДК 624.94

Производство

Савицкий Н.В. /д.т.н./, Котов Н.А.  
ГВУЗ «ПГАСиА»

## Расширение области применения металлоконструкций из высокопрочных сталей в жилом и гражданском строительстве

*Рассмотрена целесообразность применения низколегированной высокопрочной стали в металлических каркасах жилых и гражданских зданий. Проведен поиск наиболее рационального конструктивного варианта расчетной схемы по стойкости к прогрессирующему обрушению. Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 7 назв.*

**Ключевые слова:** низколегированная высокопрочная сталь, металлический каркас, прогрессирующее обрушение

*The expediency of use low-alloyed high strength steel in the metal frames of civil and residential building has been considered. The search of more rational constructive variant of rated scheme for resistance to the progressive collapse has been performed.*

**Keywords:** low-alloyed high strength steel, metal frame, progressive collapse

Современные стали являются замечательным строительным материалом, для возведения жилых и гражданских зданий любой конфигурации. Одним из основных достоинств является их высокая эксплуатационная надежность.

© Савицкий Н.В., Котов Н.А., 2014 г.

Эксплуатационная надежность объясняется тем, что эти стали имеют высокую однородность структуры, пластичность и вязкость низкоуглеродистых и низколегированных сталей, а также возможность обеспечить надежный контроль при их изготовлении

на заводах металлоконструкций.

Основными механическими характеристиками сталей являются: временное сопротивление  $\sigma_B$  – в МПа, предел текучести  $\sigma_T$  – в МПа и относительное удлинение  $\delta$  в %. Чем больше  $\delta$ , тем больший запас пластической работы стали. Для низкоуглеродистых сталей обычного качества  $\delta = 22-26\%$ , у сталей большей прочности  $\delta$  уменьшается.

Широкое применение в промышленном и гражданском строительстве нашли высокопрочные низколегированные стали. Использование таких сталей связано с тем, что при достаточно небольшом содержании легирующих элементов они имеют лучший, чем у низкоуглеродистых сталей, комплекс свойств, благодаря чему уменьшается масса металлоконструкций, повышается их надежность и долговечность. Эти свойства достигаются применением метода контролируемой прокатки, которая в ряде случаев обеспечивает более высокий уровень механических свойств по сравнению с термической обработкой с отдельного нагрева.

При применении метода контролируемой прокатки для стали 09Г2ФБ можно видеть что, температура конца прокатки оказывает большое воздействие на комплекс механических свойств, в частности, способствует заметному измельчению ферритного зерна и созданию особой субструктуры с повышенной плотностью дислокаций в феррите. Наиболее существенное измельчение ферритного зерна наблюдается в интервале температур 800-700 °С. Особенно значительное упрочнение наблюдается при температуре ниже 750 °С и этот эффект тем выше, чем выше содержание ванадия, ниобия, титана [1].

Применение сталей типа 09Г2ФБ в гражданском строительстве оправдано с многих точки зрения. Прежде всего, это позволяет расширить внутренний рынок металлопотребления, за счет увеличения использования металла в строительной сфере. В настоящее время лишь 18 % украинского металлопроката используется внутри страны. Украинская металлургия дает около 60 % валютных поступлений в бюджет страны, но прибыльность сильно зависит от конъюнктуры на внешних рынках. Расширение внутреннего рынка металлопродукции критически важно для стабильной работы украинской металлургии. Зарубежные заказчики выставляют высокие требования к качеству украинского металлопроката не только по механическим свойствам, но и по качеству отделки поверхности и т.д. В результате на металлургических комбинатах снижается выход годного металлопроката и повышается себестоимость производства. Использование листов стали 09Г2ФБ, не прошедших приемку по геометрическим параметрам или же по качеству отделки поверхности в строительной индустрии с менее жесткими требованиями позволит не только снизить себестоимость тонны стали на металлургическом комбинате, но и стимулировать строительную отрасль к более широкому применению стальных конструкций за счет снижения издержек

на тонну металлоконструкции.

В табл. 1 приведены механические свойства сталей, таких как сталь обыкновенного качества Ст3пс и низколегированной стали 09Г2ФБ.

**Таблица 1. Механические свойства**

Марка стали	Граница текучести $\sigma_T$ , МПа		Граница прочности $\sigma_B$ , МПа		Относительное удлинение $\delta_5$ , %	
	min	max	min	max	min	max
Ст3пс	235	235	370	480	23	25
09Г2ФБ	450	470	550	670	22	22

Сталь марки 09Г2ФБ хорошо свариваемая сталь, углеродный эквивалент  $S_{эк} = 0,16\%$ , для Ст3 данный показатель  $S_{эк} = 0,17-0,18\%$ . Можно сваривать без подогрева перед сваркой, трещины после сварки не образуются, сварной шов можно обрабатывать режущим инструментом.

Данное качество особенно важно при монтаже подкосов и пространственных связей жесткости, которые крепятся к каркасу из трубобетонных колонн за счет сварки. Это позволяет добиться равномерности распределения продольных и поперечных усилий от горизонтальных нагрузок, дает минимальную разность продольных перемещений колонн, а также малые перекосы в ограждающих конструкциях, кроме того выравниваются нагрузки на фундаменты колонн.

При возведении здания с формированием стального каркаса помимо обеспечения прочности и надежности при воздействии горизонтальных и вертикальных нагрузок, основной чертой является обеспечение общей устойчивости при действии ветровых и сейсмических воздействий.

Современные стальные конструкции дают возможность воплощать любые проектные решения и архитектурные замыслы. Единственным ограничением таких идей является только экономическая целесообразность.

Главными элементами стального каркаса служат типовые, прокатные гнутые, профилированные и перфорированные профили. Все элементы, входящие в стальной каркас должны обладать минимальной массой, хорошо сопрягаться между собой и с перекрытием этажей, наружными и внутренними стенами, а также с различными инженерными коммуникациями.

Стальные каркасы обладают высокой несущей способностью при малом весе и поперечном сечении, а предварительное изготовление элементов и предварительный их монтаж при жестких допусках изготовления, значительно сокращают сроки строительства, уменьшают размеры строительной площадки и не требуют мокрых процессов [2].

Выполнение каркасных зданий в металлическом каркасе из трубобетонных элементов, среди таких преимуществ как: большая прочность, коррозионная стойкость, высокая ударная вязкость, привлекает возможностью обеспечения высокой сейсмостойкости сооружения.

Трубу оболочку, арматуру и другие металлические конструктивные элементы из легированных сталей,

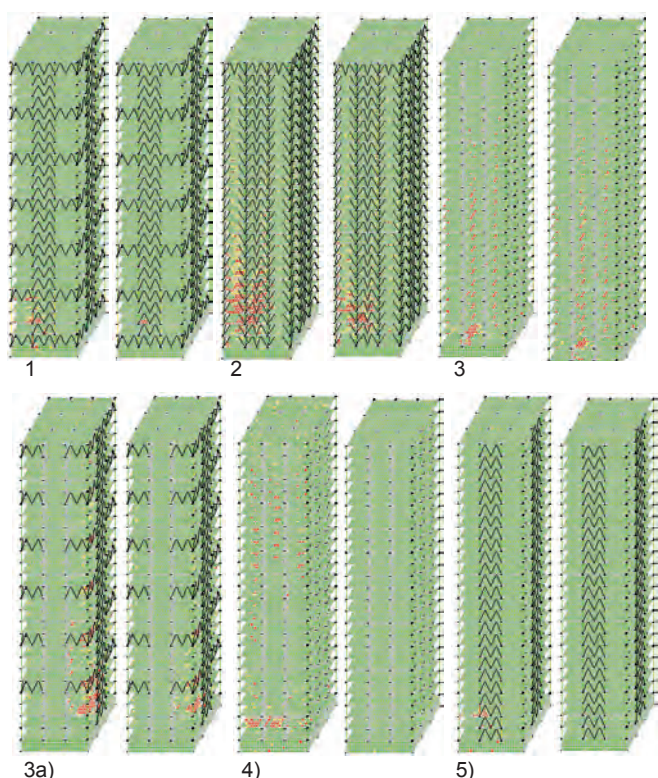


Рис. 1. Рамы при расчете на прогрессирующее обрушение, слева при применении стали СтЗпс, справа при применении стали 09Г2ФБ. Коэффициент динамичности равен 1

также рационально использовать для зданий, в которых необходимо проводить мероприятия для предотвращения прогрессирующего обрушения. Неиспользованная несущая способность таких элементов включается в работу в случае аварийной ситуации при внезапном отказе одного или нескольких элементов конструкции.

Таблица 2. Меры по необходимому усилению

Номер рамы	Максимальное значение коэффициента динамичности $K_f$		Первоначальное усиление	Требуемое дополнительное усиление
	СтЗпс	09Г2ФБ		
№ 1	1,2	1,5	Без усиления	Необходимы пояса из металлических профилей в горизонтальной плоскости через каждые пять этажей и в вертикальной плоскости на всю высоту здания с каждой стороны. Необходимо задать минимальный процент армирования для колонн и плит перекрытия.
№ 2	1,2	1,5	С металлическими распорками	Необходимы металлические пояса в вертикальной плоскости с каждой стороны и один на последнем этаже в горизонтальной плоскости. Необходимо задать минимальный процент армирования для колонн и плит перекрытия.
№ 3	2	2	С диафрагмами жесткости в одной плоскости	Необходимо задать минимальный процент армирования для диафрагм жесткости, колонн и плит перекрытия.
№ 3а	1,5	1,75	С диафрагмами жесткости в одной плоскости (удаляемый элемент находится в плоскости перпендикулярной диафрагмам)	Необходимы дополнительные пояса из металлических профилей через каждые пять этажей по горизонтали в плоскости параллельной диафрагмам жесткости, и по вертикали также в плоскости параллельной диафрагмам жесткости. Необходимо задать минимальный процент армирования для диафрагм жесткости, колонн и плит перекрытия.
№ 4	2	2	С диафрагмами жесткости в двух плоскостях	Необходимо задать минимальный процент армирования для диафрагм жесткости, колонн и плит перекрытия
№ 5	1,5	2	С диафрагмы жесткости в двух плоскостях в центральной части здания	Необходимы дополнительные пояса из металлических профилей в вертикальной плоскости с каждой стороны. Необходимо задать минимальный процент армирования для диафрагм жесткости, колонн и плит перекрытия.

Для расчета на прогрессирующее обрушение было взято пять расчетных схем: 1 – без дополнительного усиления; 2 – с металлическими распорками; 3 – с диафрагмами жесткости в одной плоскости; 4 – с диафрагмами жесткости в двух плоскостях; 5 – диафрагмы жесткости в двух плоскостях в центральной части здания.

Здания высотой 26 этажей (25 надземных этажей и подвальный этаж). Высота этажа 3,3 м, размеры здания в плане 18x18x85,8 м.

Сетка колонн 6x6 м, колонны трубобетонные, так как трубобетонные колонны являются комплексным материалом, для их задания в расчетный комплекс использовалась методика приведенной жесткости. Сечение колонны приводилось к сечению бетона. Колонны постоянного сечения по высоте, класс бетона В20.

Плиты перекрытия и покрытия приняты из монолитного железобетона сплошного сечения с опиранием на нижние полки ригелей, толщина плиты 160 мм, класс бетона В20. В качестве фундамента принята монолитная плита, толщиной 400мм, класс бетона В20. Ригели выполнены из двутавра по ГОСТ 26020-83 23К2, длиной 6 м. Металлические распорки приняты прямоугольного сечения по ТУ 67-2287-80. Диафрагмы жесткости, а также стены подвального этажа принимались толщиной 200 мм, из бетона класса В20. Сбор и приложение нагрузки на расчетную схему было выполнено в соответствии с ДБН В.1.2-2-2006. Наиболее опасной, с точки зрения вероятностного обрушения, была признана центральная колонна крайнего ряда, в качестве удаляемого элемента был выбран фрагмент колонны на первом этаже, длиной 3,3 м.



Для анализа результатов расчета на прогрессирующее обрушение коэффициент динамичности  $K_f$  брался равным коэффициенту перегрузки  $K_g$  и изменялся в диапазоне от 1 до 2, с шагом 0,25. Коэффициент динамичности очень важная характеристика, вводится для корректировки реакции системы при внезапном удалении конструктивного элемента.

На рис. 1 приведены рамы после расчета на прогрессирующее обрушение до и после задания минимального процента армирования в элементах конструкций, а также введения дополнительных элементов усиления (при необходимости). Расчет проводился при величине коэффициента динамичности  $K_f$  равном 1.

На рис. 1 приведены рамы после расчета на прогрессирующее обрушение до и после задания минимального процента армирования в элементах конструкций, а также введения дополнительных элементов усиления (при необходимости). Расчет проводился при величине коэффициента динамичности  $K_f$  равном 1.

Красным цветом показаны элементы, которые обрушились, желтым цветом показаны элементы которые могут обрушиться, зеленым цветом показаны элементы, которые не потеряли свою несущую способность.

На рис. 2, 3 приведены зависимости расхода арматуры в плитах перекрытия (рис. 2) и в диафрагмах жесткости (рис. 3) в зависимости от коэффициента динамичности для расчетной схемы № 4.

Как следует из анализа данных использование стали 09Г2ФБ, является более целесообразным по сравнению с обычной Ст3пс и особенно эффективность повышается с увеличением коэффициента динамичности ( $K_f > 1,25$ ).

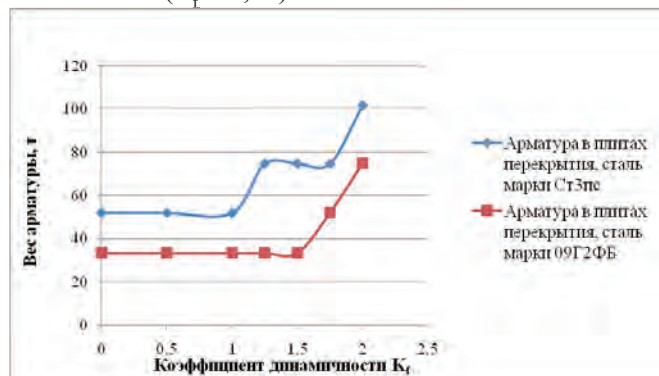


Рис. 2. Расход арматуры в плитах перекрытия, расчетная схема № 4

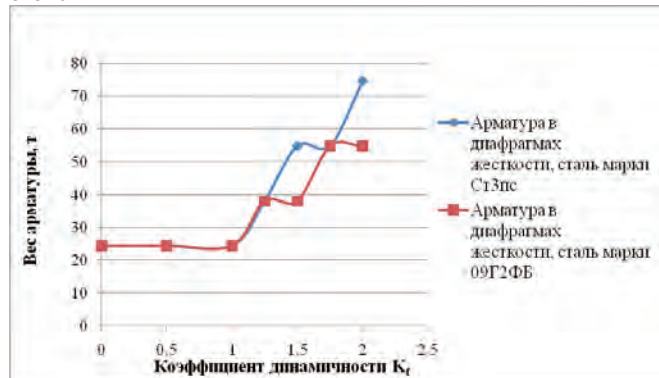


Рис. 3. Расход арматуры в диафрагмах жесткости, расчетная схема № 4

Применение стали 09Г2ФБ вместо Ст3пс позволяет снизить общий вес конструкции, снизить время монтажа конструкции и вместе с тем одновременно повысить коэффициент динамичности, повысить сопротивляемость прогрессирующему обрушению. Максимальное значение коэффициента динамичности, для каждой рамы, а также необходимые меры по усилению конструкции приведены в табл. 2.

### Выводы

В статье выполнен анализ различных конструктивных вариантов схем, при расчете на прогрессирующее обрушение. Наиболее стойкой к прогрессирующему обрушению оказалась рама № 4, с диафрагмами жесткости в двух плоскостях, максимальное значение коэффициента динамичности равно 2. Для нее не требуется введение дополнительных металлических поясов или распорок, достаточно задать минимальный процент армирования.

Показано, что применение высокопрочных низколегированных сталей, которые имеют большую чем у низкоуглеродистых сталей прочность, для трубы-оболочки и арматуры рационально использовать для зданий, в которых необходимо проводить мероприятия для предотвращения прогрессирующего обрушения (рис. 2, 3). Неиспользованная несущая способность такой арматуры включается в работу в случае аварийной ситуации при внезапном отказе одного или нескольких элементов конструкции. Кроме того общий объем такой арматуры существенно меньше чем Ст3пс, а также можно существенно увеличить значение коэффициента динамичности  $K_f$  для каждой расчетной схемы, то есть рамы выдерживают значительно большие нагрузки.

### Библиографический список

1. Использование сталей повышенной прочности в новом высотном строительстве и реконструкции / В.И. Большаков, О.В. Разумова. - Днепропетровск: Пороги, 2008. - 214 с.
2. Основы формообразования стальных каркасов многоэтажных и высотных зданий / В.И. Большаков, М.М. Жербин, О.В. Разумова – Днепропетровск: ПГАСА, 2004. - 132 с.
3. Стороженко Л.И. Стан розробки нормативного документа по проектуванню сталобетонних конструкцій // 36. наук. ст. Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. Вип. 5. – Кривий Ріг: КТУ, 2002. – С. 11-14.
4. Расчет трубобетонных конструкций / Л.И. Стороженко, П.И. Плахотный, А.Я. Черный. - К.: Будивэльныйк, 1991. - 120 с.
5. ДБН В.2.2-24:2009.
6. ДБН В.1.2-2-2006.
7. Расчетные модели сооружений и возможности их анализа / А.В. Перельмутер., В.И. Сливкер. – К.: Сталь, 2002. – 600 с.

Поступила 18.10.2013