

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Возведение опор воздушных линий электропередачи является стратегически важной задачей строительной отрасли любого государства. Существует множество их конструктивных решений с применением различных материалов. Это и давно известные железобетонные, деревянные и металлические решетчатые опоры, и сравнительно новые на основе металлических многогранных и полимерных стойках, имеющие свои достоинства и недостатки. Поэтому применение тех или иных решений с учетом географических признаков (климат и рельеф местности), а также требований к эстетичности электросетевых конструкций и землеотвода под них (расположение ВЛ в жилой, промышленной или рекреационной зоне) остается актуальной проблемой для проектировщиков. Кроме того, все больше внимания уделяется вопросам надежности и долговечности, что определяет эффективность работы современных воздушных линий и стабильность передачи электроэнергии потребителям.

Безусловно, решение этой задачи невозможно без широкого использования новых технологий и материалов, т.к. современные технические требования к конструкциям нового поколения предусматривают как продление их сроков службы и повышение надежности, так и снижение трудоемкости строительства и уменьшение затрат на эксплуатацию.

Применение трубобетонных конструкций для опор ВЛ. Использование новых технологий и материалов на ВЛ в данной статье предполагает применение трубобетонных конструкций на основе уже апробированных на практике металлических многогранных стоек. Возможны следующие конструктивные решения трубобетонных опор:

- металлический многогранный ствол опоры ВЛ, заполненный бетоном (рис. 1, 3, 4);
- решетчатая сталебетонная опора (пояса и решетка из прямоугольных или круглых труб, заполненных бетоном) (рис. 2) [1].

Сталебетонные конструкции (балки объединенного сечения, элементы с жестким и листо-



Ю.Н. Прядко

доцент кафедры «Теоретическая механика» Киевского национального университета строительства и архитектуры, к.т.н.



Н.В. Прядко

директор ООО «СВК», доцент, к.т.н., г. Мариуполь

вым армированием, плиты покрытия, трубобетон и т.д.) далеко не новые строительные конструкции, их истоки берут свое начало с 40-х годов прошлого столетия. На сегодняшний день они широко используются в мостостроении, промышленном строительстве, а также при создании объектов гражданского назначения (в основном это высотные каркасные здания) [2, 3].

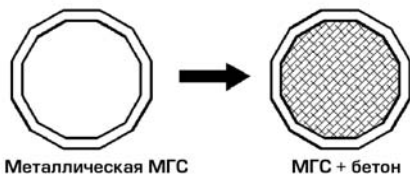
Впервые трубобетонные конструкции в электросетевом строительстве были применены еще в 1947 г., в горном районе Швейцарии, где была построена первая ВЛ на решетчатых опорах из трубобетонных элементов, и несколько позже в Норвегии на опорах с двойной оболочкой, которые с механической и экономической точки зрения оказались эффективнее аналогов, выполненных на основе классических бетонных и металлических решетчатых опор [1]. О дальнейшем развитии трубобетонных ВЛ в отечественных литературных источниках информация почти не встречается.

Особенности трубобетонных конструкций для ВЛ. Перспективность применения трубобетона в электросетевом строительстве в первую очередь зависит от их конструктивных особенностей, которые выражаются в сочетании достоинств и недостатков совместной работы двух материалов – стали и бетона [3]:

- металлическая труба выполняет одновременно функции продольного и поперечного армирования;



Рис. 1.
Опора на основе
МГС ВЛ 220 кВ
с перспективой
модификации
в трубобетонную



Металлическая МГС

МГС + бетон



Рис. 3.
Ствол трубобетонной опоры
с двойной
оболочкой
(CFDST)

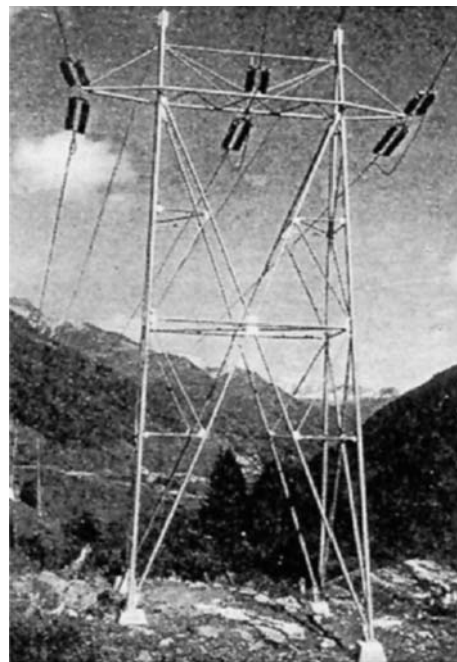


Рис. 2.
Решетчатая
опора ВЛ 150 кВ
из трубобетон-
ных элементов
(CFST)

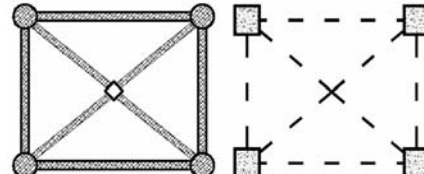


Рис. 4.
Монтаж трубобетонной опоры
с двойной
оболочкой
(Норвегия)

- за счет обжатия бетона металлической оболочкой (трубой) резко приостанавливается развитие микротрещин в бетоне, что позволяет ему выдерживать напряжения, существенно превышающие его призмную прочность;
- металлическая труба, заполненная бетоном, в большей степени защищена от потери общей и местной устойчивости;

- в предельном состоянии они не теряют несущую способность мгновенно (как, например, железобетонные), а длительное время могут выдерживать нагрузки при значительном развитии деформаций;
- трубобетонные элементы сохраняют все преимущества рациональных трубчатых металлических конструкций, которые все чаще применяются в практике строительства,

а именно: минимальное количество дополнительных элементов при их соединении сваркой (безфасоночные соединения);

- неограниченная область применения тробетона – при повышенных температурно-влажностных режимах, в агрессивной среде, при больших пролетах линий и высотах опор и т.д.

Наиболее вероятным недостатком трубобетонных опор является снижение их гибкости, особенно в сравнении с опорами на основе металлических МГС, что в свою очередь может отразиться на качестве их работы в аварийных режимах (при обрыве провода или грозозащитного троса). Следовательно, необходимо изучить изменения механических свойств трубобетонных опор ВЛ с учетом различных пропорций заполнения ствола бетоном.

Очень важно отметить, что изготовление трубобетонных конструкций в целом и для электросетевых конструкций в частности имеет свои особенности. Рассматривая в качестве базиса МГС, имеющих форму усеченного конуса, можно сделать вывод о практической невозможности их бетонирования в заводских условиях. Поэтому на сегодняшний день единственным возможным вариантом изготовления трубобетонных опор ВЛ является их бетонирование в процессе монтажа.

На первый взгляд такая технология кажется очень трудоемкой и технически сложной, особенно для ВЛ магистрального типа, у которых опоры могут достигать 40 м. Кроме того, необходимо обеспечить качество заполняемости многогранных стволы опор бетоном. С целью устранения возможных негативных моментов монтажа предлагается две технологические схемы с применением подвижной самоуплотняющейся бетонной смеси с суперпластификаторами [4, 5] вместо классического тяжелого бетона. К достоинствам предлагаемого материала следует отнести:

- качественное заполнение внутренней полости МГС;
- отсутствие необходимости в вибрировании при монтаже;
- повышенную прочность, долговечность и плотность, минимизацию наличия пустот и дефектов;
- увеличенное время транспортирования бетонной смеси;

- снижение сроков строительства;
- соизмеримость по стоимости с классическим бетоном.

Но при этом нельзя не обратить внимания на недостатки данного материала:

- возможность использования монтажа только при положительной температуре воздуха;
- промедление на стройплощадке может негативно отразиться на подвижности рабочей смеси;
- модуль упругости примерно на 15 % ниже, чем у классического бетона.

В зависимости от класса напряжения ВЛ (т.е. от высотных характеристик конструкций опор) технологические схемы их бетонирования подразделяются на бетонирование целиком смонтированного ствола из МГС для опор высотой до 10 м (рис. 5, а) и, соответственно, посекционное бетонирование для опор выше 10 м (рис. 5, б).

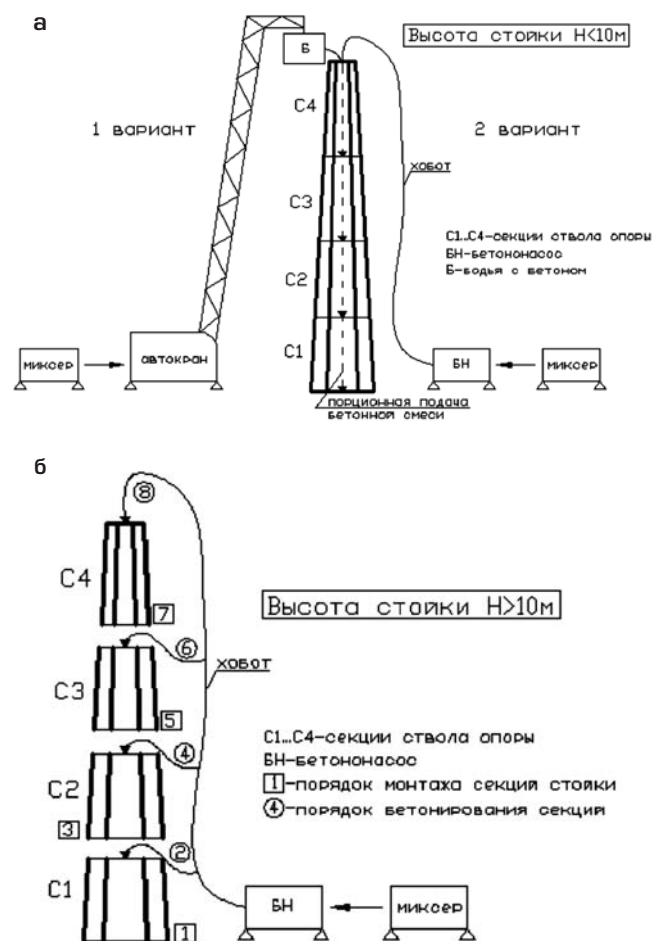


Рис. 5. Способы бетонирования ствола опоры:
а – при высоте стойки $H \leq 10$ м; **б** – при высоте стойки $H > 10$ м

Предварительный технико-экономический анализ рассматриваемых трубобетонных опор. Естественно, что когда речь идет о перспективности применения новых конструкций, то необходимо обоснование не только их технической состоятельности для применения, особенно в стратегическом классе конструкций как опоры ВЛ, а и их экономической целесообразности.

В первом приближении технико-экономическое сравнение выполнено по критериям материалоемкости и стоимости изготовления конструкций для нескольких типов стоек под опоры ВЛ. Все рассматриваемые варианты принимались с одинаковыми геометрическими параметрами (высоты и поперечного сечения). Для сравнения приняты:

- бетонная центрифугированная стойка СК22 (тип 1);
- металлическая многогранная стойка (тип 2);
- МГС с самоуплотняющейся смесью (тип 3);
- МГС «кольцо в кольце» с самоуплотняющейся смесью (тип 4).

При расчете этих критериев приняты расценки заводов-изготовителей по состоянию на 01.03.2013 г. (см. таблицу).

Данные таблицы показали, что:

- применение трубобетонных стоек любого типа существенно снижает металлоемкость конструкции;
- для конструкции типа 3 это снижение сопровождается абсолютно незначительным удорожанием в сравнении с железобетонной стойкой СК-22 и ощутимым удешевлением в сравнении с пустотелым МГС;
- для конструкции типа 4 при значительном снижении металлоемкости ($\approx$ в 3 раза) происходит существенное удорожание в сравнении с остальными конструктивами ($\approx$ в 2 раза).

«Противоаварийные» опоры ВЛ. Массовые аварии ВЛ на рубеже XX–XXI вв. в электрических сетях [6, 7] свидетельствуют о недостаточной надежности ВЛ в условиях повышенных гололедно-ветровых воздействий (рис. 6).

Среди основных причин аварий на ВЛ, приведших к каскадным разрушениям строительных конструкций, следует выделить превышение реальных значений климатических нагрузок (гололедно-ветровых) в сравнении с расчетными и несовершенства конструктивных решений опор.

К конструктивным несовершенствам большинства существующих металлических опор можно отнести следующие:

- а) расположение токоведущих частей таким образом, что при обрыве гирлянды изоляторов происходит падение провода на нижележащие конструкции опоры, что может привести к тяжелым повреждениям (рис. 6, а);
- б) высокую уязвимость при каскадных разрушениях (рис. 6, б);
- в) ослабление элементов пояса и решетки опоры в местах болтовых соединений (рис. 6, в, г);
- г) нерациональное использование материала элементов, выполненных из уголкового профиля, вследствие нарушения принципа равной устойчивости при осевых нагрузках.

Перечисленные несовершенства существующих металлических опор привели к выходу из строя более тысячи километров линий, в результате чего возникла идея создания так называемых «противоаварийных опор» (рис. 7). Их отличительной особенностью является расположение траверс на стволе опоры с целью обеспечения свободного падения провода на землю в случае возникновения аварийной ситуации на ВЛ. Как следствие – устранение возможности повреждения нижележащих конструкций и предотвращение каскадных разрушений опор.

Сравнительные технико-экономические характеристики стоек

Тип стоек	Необходимая толщина стенки, мм	Марка стали, класс бетона	Материалоемкость		Стоимость изготовления, грн.	$\Delta_{изг}$, %
			сталь, кг	бетон, м ³		
1	–	B40 BСr3	571,1	2,517	20000	–
2	3...6	C245	1491,6	–	29920	33,1
3	3...4	C245 B12,5	0,91	4,98	21470	6,8
4	2	C245 B12,5	1938,9	1,63	39862	100

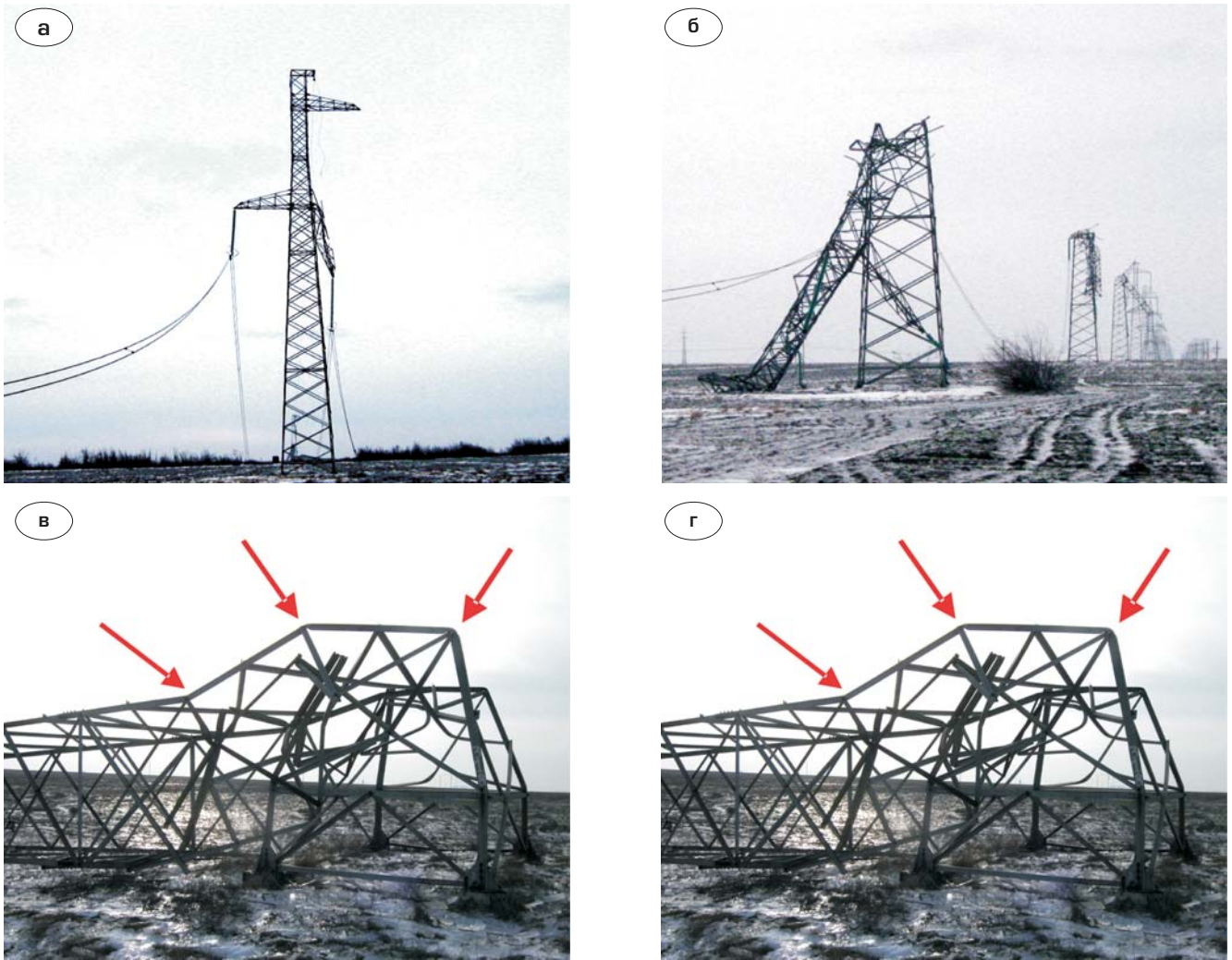


Рис. 6. Повреждения опор вследствие аварий на ВЛ 330 кВ:

а – при обрыве гирлянды изоляторов верхней траверсы; б – каскадное разрушение опор в средней части ствола;
в – излом поясов ствола опоры; г – в месте болтового соединения пояса с базой

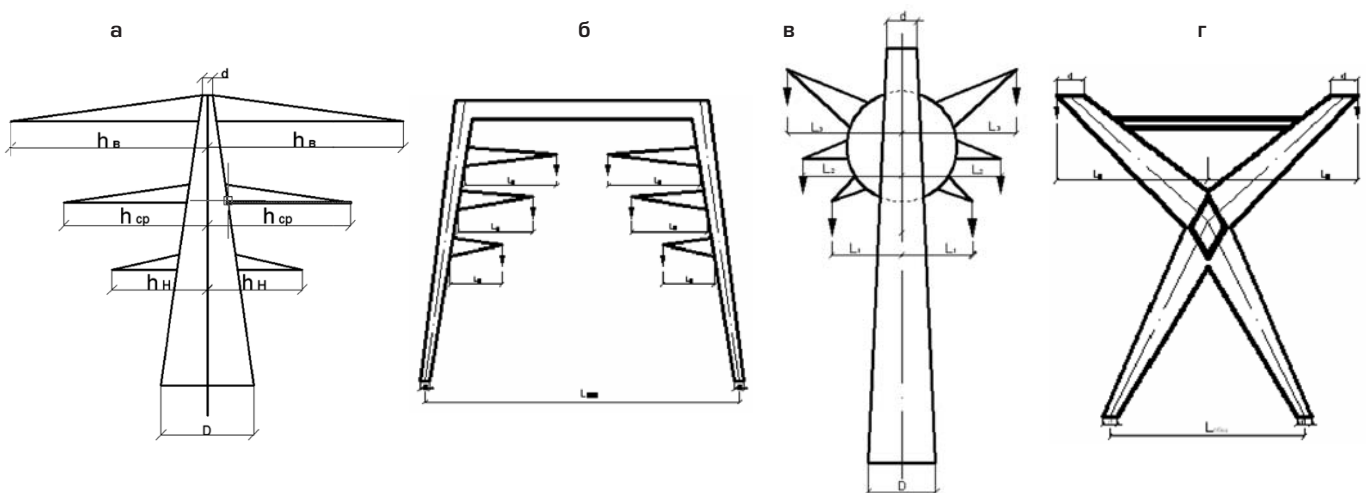


Рис. 7. Схемы основных типов «противоаварийных» опор на основе МГС:

а – 2-цепная опора типа «обратная елка»; б – 2-цепная П-образная опора;
в – 2-цепная опора типа «звезда»; г – X-образная 1-цепная опора типа «ножницы»

Кроме того, такие конструктивные решения не имеют негативного влияния на эстетические свойства опор, т.е. их возможно применять в городских условиях.

Данный вид опор можно рассматривать как ремонтный резерв в случае аварии на ВЛ или ее реконструкции, а также как конструктивные решения для нового строительства. В качестве базиса для них допустимо использовать МГС и МГС + бетон, а также полимерные опоры.

Выводы.

1. Необходимость создания новых модификаций опор обусловлена на сегодняшний день вопросами эстетики, землеиспользования и соблюдением технико-электрических требований к ВЛ.

2. Применение трубобетона для стоек опор

ВЛ позволит существенно снизить металлоемкость и в некоторой степени их стоимость.

3. Предлагаемые трубобетонные решения опор ВЛ на основе МГС позволят создать базу для модификации ВЛ на городских, промышленных и рекреационных территориях.

4. Использование самоуплотняющихся бетонных смесей в качестве заполнителя опор позволит сократить трудоемкость и стоимость их монтажа и соответственно повысить качество конструкций.

5. Опоры «противоаварийного» типа (при соответствующем технико-экономическом обосновании) можно рассматривать как альтернативу классическим вариантам построения геометрии опор (например, «бочка»), ведущую к повышению эффективности работы ВЛ.

- [1] Eggemann H. Simplified Design of Composite Columns, Based on a Comparative Study of the Development of Building Regulations in Germany and the United States, Berlin, Industrial Journal, 2003. – p. 11–23.
- [2] Стороженко Л.И. Сталезалобетонні конструкції / Л.И. Стороженко, О.В. Семко, В.Ф. Пенц // – Полтава: ПолНТУ, 2005. – 182 с.
- [3] Стороженко Л.И. Трубобетонные конструкции. – К.: Будівельник, 1978. – 80 с.
- [4] Зайченко Н.М., Губарь В.Н., Белый Е.А. Тонкозернистая сухая бетонная смесь наливного типа с комбинированным органо-минеральным модификатором на основе отходов промышленности // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Вип. 2011-1 (85). – С. 63–72.

- [5] Зайченко Н.М., Лахтарина С.В. Самоуплотняющиеся бетоны, дисперсноармированные полимерными волокнами // 36. наук. праць «Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне: НУВГП, 2011. – Вип. 22. – С. 63–70.
- [6] Горохов Е.В., Бакаев С.Н., Назим Я.В., Моргай В.В., Попов М.С. Анализ причин и последствий аварий на участках ВЛ 330 кВ Джанкойских МЭС Крымской электроэнергетической системы НЭК «Укрэнерго» // «Металеві конструкції» – Мakiївка, 2010. – Том 16, № 2. – С. 75–92.
- [7] Назим Я.В., Лещенко А.А. Сравнительный анализ походов к определению климатических нагрузок на ВЛ на примере Крымской ЭС // Металеві конструкції. – Макеевка, 2010. – Том 16, № 1. – С. 61–74.

Надійшла 17.12.2015 р.

Книжковий огляд

СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА СТАДИИ КМД

В книге изложены практические примеры проектирования стальных конструкций на всех его этапах: от заготовки металлопроката до отгрузки готовых изделий. Проектирование стальных конструкций на двух стадиях – КМ и КМД – отличается по сложности и задачам, стоящим перед исполнителем на каждой стадии.

Основная идея книги состоит в обосновании целесообразности организации одностадийного проектирования с использованием опыта 30-х годов прошлого столетия на современной качественной основе.

Рассмотрены конкретные проблемы, возникшие при изготовлении стальных металлоконструкций на одном из заводов ЗМК в 2005–2009 годах, а также приведена подборка специфических терминов и слов, употребляемых в нормативной литературе.

Книга рассчитана на специалистов, занимающихся проектированием стальных конструкций.

Также книга будет полезна студентам строительных и машиностроительных специальностей высших учебных заведений.

Тел. для справок:

Рабер Лев Матвеевич, рецензент – (067) 600-86-30

Зорин Захар Яковлевич – (067) 611-06-30

Зорин З.Я., Новицкий А.А.

Стальные конструкции. Проектирование на стадии КМД

К.: Изд-во «Сталь», 2015. – 268 с., рис. 220, табл. 88.

