

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Воронина Николая Николаевича на диссертационную работу Шевченко Романа Алексеевича «Разработка способа и обоснование технологических решений процесса сварки дифференцированно упрочненных железнодорожных рельсов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии

1. Оценка содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Р.А. Шевченко выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет» при финансовой поддержке ФГБУ «Фонд содействия развития малых форм предприятий в научно-технической сфере» в рамках реализации НИР (договор № 11866ГУ/2017 от 03.07.2017 г.) «Разработка технологии сварки и термообработки железнодорожных рельсов, предназначенных для высокоскоростного движения», а также при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках реализации НИР (договор № 20-48-420003\20 от 20.12.2020 г.) «Развитие физико-химических и технологических основ создания принципиально нового способа сварки дифференцированно термоупрочненных железнодорожных рельсов».

Содержание диссертации включает в себя все необходимые разделы для получения конечных результатов проведенных исследований и является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной с применением современных расчетных и экспериментальных методов с конкретными предложениями по применению ее результатов для контактной стыковой сварки железнодорожных рельсов.

Рецензируемая диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения с изложением основных результатов и выводов, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и четырех приложений: в двух из которых приведены технические характеристики машины для стыковой сварки рельсов и ее принципиальная электрическая схема, а в двух других акты об использовании полученных результатов. Основное содержание диссертации изложено на 164 страницах машинописного текста, в том числе 90 рисунков, 26 таблиц и четыре приложения с одним рисунком и пятью таблицами.

Во введении обоснованы актуальность и дан анализ научной разработанности темы исследования, определены его цель и задачи, сформулирована научная новизна

диссертационной работы, ее теоретическая и практическая значимость, определены методы исследования. Изложены положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации результатов исследования, и краткое содержание диссертации.

В первом разделе диссертации автором выполнен обзор современного производства железнодорожных рельсов, которые в настоящее время используются для укладки звеньев и бесстыкового путей железных дорог, а также и для стрелочных переводов. В данном обзоре достаточно подробно проведен анализ рельсов по их назначению, типам, способам производства сталей для их изготовления и видам термической обработки для получения необходимого химического состава, структуры металла и механических свойств, т.к. рельсы укладываются в разных климатических зонах и испытывают значительные механические нагрузки. Разрушение самого рельса или стыка между ними приводит к крупной аварии или крушению.

Повышение скоростей движения и нагрузок на ось потребовало для безопасности движения уменьшить количество стыков между рельсами. На начальном этапе стали увеличивать длину рельсов, но производственные мощности не позволяют выпускать слишком длинные рельсы, даже в настоящее время, и тогда их начали сваривать между собой, но рельсовые стали имеют низкую свариваемость и являются слабым местом.

В работе достаточно подробно рассмотрены четыре основных способа сварки стыков рельсов: контактный, газопрессовый, термитный и дуговой.

Для нового поколения контактных сварочных машин, позволяющих выполнять сварку длинномерных плетей, показано, что они оснащены компьютеризированной системой управления параметрами сварки, которые позволяют автоматически адаптировать режимы сварки к реальным изменениям условий их эксплуатации (колебанию напряжения сети, сопротивлению сварочного контура, температуре окружающей среды).

В конце первого раздела показано, что существующий способ контактной сварки рельсов и последующая локальная термическая обработка не позволяют полностью исключить образование дефектных структур в зоне сварного стыка соединяемых рельсов. В связи с этим требуется проведение дополнительных исследований и на их основе разработка технологического процесса, позволяющего уменьшить или полностью исключить образование зон с пониженной прочностью металла рельсов в зоне термического влияния после локальной термической обработки сварного соединения рельсов.

Второй раздел посвящен разработке способа сварки образцов

железнодорожных рельсов: при этом использовались теоретических методы и экспериментальные исследования, а также осуществлялась разработка оборудования и его промышленное опробование на образцах рельсов.

Для расчета температурных полей использовались известные инженерные методы расчета с общепринятыми в них допущениями.

Для термодинамического моделирования и расчета фазовых равновесий, применительно к стали 76ХСФ, использовался шведский пакет программ, предназначенный для выполнения расчетов фазовых равновесий и термодинамических свойств в многокомпонентных системах.

Дилатометрические исследования выполняли с использованием закалочного дилатометра Linseis R.I.T.A. L78 на цилиндрических образцах диаметром 3 мм и длиной 10 мм в среде гелия высокой чистоты.

Термическое влияние на структуру рельсовой стали оценивалось с помощью разработанной методики измерения температур в зоне термического влияния во время сварки лабораторных образцов. Однако указанные образцы существенно отличаются от реальных размеров и конфигурации самих рельсов, а также от скоростей охлаждения в разных его местах. Поэтому точно определить место с нежелательной структурой металла установить тяжело.

В третьем разделе автором проведены и описаны различные лабораторные исследования: термодинамическое моделирование двойных диаграмм состояния для рельсовой стали, дилатометрические исследования при непрерывном охлаждении образцов рельсовой стали с заданным химическим составом.

Показано, что для получения минимальной протяженности участка с пониженной твердостью предлагается производить сварку рельсов на жестких режимах контактным способом - пульсирующим методом оплавления, а для исключения образования дефектов в виде закалочных структур - управлять охлаждением сварного соединения с помощью контактного нагрева. Источником питания для контактного нагрева предлагается использовать трансформатор рельсосварочной машины, на которой проводилась сварка данного стыка. Для осуществления подогрева деталей после сварки, внесены изменения в принципиальную схему машины.

Эксперименты проведены на девяти различных режимах сварки и режимах управляемого охлаждения, при этом каждый раз фиксировалась протяженность зон термического влияния и температуры превращения аустенита 720–770 °С. Для всех этих зон в дальнейшем определялось распределение твердости, микротвердости, наличие и размер неметаллических включений, структуры и объемной доли структурных составляющих в поперечном направлении сварному шву образцов,

сваренных на каждом режиме и обработанных контактным подогревом по заданным режимам. Также для всех испытанных образцов были получены физико-механические свойства: твердость НВ, протяженность ЗТВ (мм); предел текучести σ_T (Н/мм²); временное сопротивление разрыву σ_b (Н/мм²); относительное удлинение δ_5 (%); относительное сужение ψ , (%).

Выявлено влияние параметров импульсного контактного подогрева после сварочного нагрева на понижение твердости металла сварного соединения относительно основного металла: увеличение длительности подогрева, количества импульсов подогрева и снижение длительности паузы после осадки. Длительность паузы между импульсами позволяет получить сварное соединение из рельсовой стали с минимальным понижением твердости, а увеличение длительности паузы после осадки, длительности подогрева и количества импульсов подогрева приводит к увеличению протяженности зоны термического влияния.

Четвертый раздел диссертации посвящен промышленному опробованию полученных результатов управляемого охлаждения на реальных рельсовых стыках. Работы проводились на машине для контактной стыковой сварки МСР-6301 в условиях рельсосварочного предприятия ООО «РСР - М» (РСР-29). Для исследования вырезались образцы рельсов типа Р65 категории ДТ350 длиной 600 мм. Для точного задания режимов управляемого охлаждения была написана специальная программа для компьютера, задающая необходимое количество импульсов пропускания электрического тока через сварной стык. Проведена серия экспериментов на различных режимах управляемого охлаждения. Результаты экспериментов подтвердили повышение механических свойств сварного стыка рельсов. Установлено, что влияние кратковременного воздействия электрического тока во время охлаждения рельсового стыка после сварки позволяет уменьшить протяженность зоны с пониженной твердостью в 2,8 раза и снижение твердости металла в этой зоне менее чем на 15 % относительно нижней границы твердости основного металла.

Определено, что использование разработанного способа позволит исключить операцию последующей термической обработки сварного стыка рельсов. Это позволит сократить время одного цикла технологических операций на 6 минут, что увеличит производительность труда на 10 %, так же снизить расходы на электроэнергию.

В заключении диссертации содержатся выводы и предложения, обобщающие результаты выполненного исследования, перспективы дальнейшей разработки темы.

2. Актуальность диссертационной работы

Актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью обеспечения бесперебойного движения поездов по железнодорожному пути. В настоящее время подавляющее большинство главных путей являются бесстыковыми. Такой путь получают за счет сварки отдельных термообработанных рельсов между собой, т.к. максимальная длина рельса при его прокатке в настоящее время не может превышать 100 метров. На рельсосварочных предприятиях отдельные рельсы длиной от 25 до 100 метров свариваются в плети протяженностью до 800 метров.

При проведении сварочных работ отдельные участки рельсов нагреваются выше критической температуры, что приводит к их разупрочнению за счет изменения структуры металла. Это понижает срок их эксплуатации.

Поэтому актуальность темы диссертационной работы Шевченко Романа Алексеевича не вызывает сомнений и определяется необходимостью разработки способов предотвращения и снижения прочностных характеристик металла рельсов при их сварке между собой путем применения современных технологических приемов.

Снижение расходов, связанных с необходимостью дополнительной термической обработкой после сварки стыка рельсов и одновременное повышение прочности ослабленных мест, является актуальной задачей для путевого хозяйства железных дорог общего пользования России.

3. Соответствие диссертации паспорту научной специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии

В результате выполненных исследований разработаны научно обоснованные методы, способы, технические разработки и рекомендации, обеспечивающие создание высокоэффективной ресурсосберегающей технологии соединения закаленных рельсов для бесстыкового пути, повышающие их работоспособность. Таким образом, диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии по пунктам:

- п. 3 «Физические процессы в материалах при сварке и родственных технологиях, фазовые и структурные превращения, образование соединений и формирование их свойств»;
- п. 4 «Технологические основы сварки плавлением и давлением»;
- п. 5 «Тепловые процессы и деформации при сварке, пайке и наплавке»;

- п. 6 «Системы стабилизации, программного управления и регулирования параметров технологии сварки и родственных процессов»;
- п. 8 «Оборудование для сварки, резки, пайки, наплавки, нанесения покрытий, склеивания».

4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, имеют прикладной характер, базируются на фундаментальных методах теоретических и экспериментальных исследований физикомеханических свойств рельсовых сталей, математическом моделировании тепловых процессов при стыковой контактной сварке рельсов, металлографическом исследовании структур сварного шва и околошовной зоны, анализе результатов отечественных и зарубежных научно-исследовательских работ по данной тематике, а также проведенных в работе исследований.

Приведенные в диссертации выводы и рекомендации можно считать достаточно обоснованными и логичными.

5. Достоверность и новизна, полученных результатов

Достоверность результатов работы подтверждается достаточным объемом экспериментальных данных (по сравнению с минимально необходимой величиной для получения достоверных результатов), обладающих хорошей сходимостью и повторяемостью, использованием апробированных и широко используемых в инженерной практике программных продуктов, достаточной сходимостью полученных результатов с имеющимися данными российских и зарубежных исследователей.

К наиболее важным положениям и результатам работы, сформулированным в диссертации и имеющим научную новизну, относятся:

- расчет распределения температуры на этапе нагрева и охлаждения свариваемых образцов из рельсов при стыковой контактной сварке;
- разработанные методики: экспериментальных дилатометрических исследований распада переохлажденного аустенита рельсовых сталей; исследования термических циклов при сварке лабораторных образцов; металлографические исследования лабораторных образцов и полнопрофильных рельсовых стыков;

- построение регрессионной модели методом наименьших квадратов;
- термодинамическое моделирование двойных диаграмм состояния для рельсовой стали;
- проведение дюрометрических исследований распада переохлажденного аустенита рельсовых сталей, обработанных по различным режимам
- исследование влияния импульсного контактного подогрева сварного стыка из рельсовой стали во время охлаждения после сварки;
- разработка оборудования для проведения лабораторных исследований;
- разработка программы управления охлаждением металла после сварки на сварочной машине МСР-6301 полнопрофильных рельсов; их механические испытания; металлографические исследования сварного соединения и исследование износостойкости поверхности катания головки рельсов в зоне сварного соединения.

Выносимые соискателем на защиту положения являются новыми:

- результаты термодинамического моделирования, показывающие, что для стали 76ХСФ в зависимости от содержания легирующих элементов нагрев до температур в интервале 725–840 °С и последующее охлаждение приводит к образованию зернистого перлита, что в свою очередь приводит к снижению твердости;
- совокупность экспериментальных данных, устанавливающих взаимосвязь между протеканием кратковременных импульсов электрического тока через сварное соединение рельсов после контактной стыковой сварки пульсирующим методом оплавления и образованием закалочных структур в металле сварного шва и зоне термического влияния;
- обоснование увеличения показателей статического трехточечного изгиба: усилия изгиба в 1,25 раза, стрела прогиба в 1,5 раза, а так же уменьшение протяженности зоны с пониженной твердостью в 3 раза и увеличение твердости металла в данных зонах в 1,6 раза относительно результатов, получаемых способом локального индукционного нагрева, в результате использования контактного подогрева, производимого рельсосварочной машиной в момент охлаждения рельсового стыка после сварки, спустя 200 секунд после осадки четырьмя импульсами длительностью 10 секунд при плотности электрического тока 7,5 А/мм².

6. Теоретическая и практическая значимость исследования и полученных результатов

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов заключается в следующем:

1) рекомендован способ сварки железнодорожных рельсов повышенной износостойкости без дополнительной локальной термической обработки, снижающий объем дефектных структур в сварном шве и в зоне термического влияния;

2) разработано лабораторное оборудование для контактной стыковой сварки оплавлением с возможностью управления охлаждением металла после сварки и исследования влияние кратковременного воздействия электрического тока во время охлаждения рельсовой стали после контактной сварки на структуру сварного шва и зон термического влияния;

3) предложена модернизация промышленного опробования для использования разработанного способа контактной сварки железнодорожных рельсов, и определены рациональные параметры охлаждения сварного соединения рельсов при использовании кратковременного воздействия электрического тока, поддерживающего заданную температуру, необходимую для формирования требуемой структуры сварного соединения и минимальной зоны термического влияния;

4) разработан способ контактной стыковой сварки рельсов без использования дополнительной локальной термической обработки, позволяющий получить минимальную, по сравнению с локальной термической обработкой, протяженность зоны термического влияния с пониженной твердостью.

Выводы и рекомендации, указанные в диссертации, являются существенными для изготовления и эксплуатации железнодорожного пути, обладают научной новизной и практической значимостью.

7. Апробация работы и публикации

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на многочисленных научно-практических конференциях всероссийского и международного уровней, международных научных чтениях.

По материалам диссертации опубликовано 56 научных работ, из них 11 статей опубликованы в ведущих научных рецензируемых журналах и изданиях перечня ВАК Минобрнауки РФ и 7 – в изданиях, индексируемых в международных мультидисциплинарных библиографических и реферативных базах данных SCOPUS. Новизна предложенных технических решений защищена 3 патентами Российской Федерации

8. Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом

Диссертация написана грамотным языком, изложение логично и последовательно с использованием профессиональной терминологической лексики, эмоционально окрашенные слова отсутствуют. Архитектоника правильная. Содержание диссертации соответствует поставленным целям и задачам исследования.

Диссертация и автореферат по структуре и оформлению соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Оформление списка литературы в виде библиографических ссылок соответствует п. 5.6 ГОСТ Р 7.0.11-2011

По окончании каждого раздела приводятся выводы и обобщающие результаты исследований. В заключении сформулированы общие итоги исследований по диссертации. Материалы диссертационной работы изложены ясно и последовательно, хорошо иллюстрированы и структурированы. В своей работе автор широко и компетентно использует результаты исследований отечественных и зарубежных ученых.

В рамках, поставленных и решенных в диссертации задач исследование можно считать вполне завершенным.

9. Соответствие автореферата основному содержанию диссертации

Автореферат полностью и корректно отражает основное содержание диссертации в кратком изложении.

10. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положение о присуждении ученых степеней» по пунктам 10,11 и 14

Диссертация Шевченко Романа Алексеевича «Разработка способа и обоснование технологических решений процесса сварки дифференцированно упрочненных железнодорожных рельсов», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии, соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», в том числе:

- в соответствии с п. 10 диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации приводятся сведения о практическом использовании полученных автором

диссертации научных результатов и рекомендаций по использованию научных выводов;

- в соответствии с п. 11 основные научные результаты диссертации достаточно полно отражены в рецензируемых научных изданиях;

- в соответствии с п. 14 в диссертации содержатся ссылки на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов, а также на результаты научных работ, выполненные лично соискателем ученой степени и в соавторстве.

11. Достоинство и недостатки в содержании и оформлении диссертации, влияние отмеченных недостатков на качество исследования

К достоинствам диссертационного исследования следует отнести актуальность темы, научную новизну и практическую значимость. Автором грамотно и последовательно изложен материал диссертации. Также можно отнести эффективное использование отечественного и зарубежного опыта по бесстыковому пути.

Среди достоинств работы следует отметить предложенный способ импульсного контактного подогрева электрическим током во время охлаждения рельсового стыка после стыковой контактной сварки, большой объем экспериментальных исследований, выполненных по разработанным автором и внедренным в испытательном центре методикам, в результате термодинамического моделирования и дилатометрических исследований рельсовой стали установлена закономерность формирования структуры металла сварного шва, включая зону термического влияния дифференцированно термообработанных железнодорожных рельсов.

По содержанию диссертации следует отметить следующие замечания:

1) в диссертации используются термины: «электроконтактная и электродуговая сварка», не соответствующие ГОСТ 2601-84 СВАРКА МЕТАЛЛОВ. Термины и определения основных понятий. Однако, они широко используются в документах ОАО «РЖД»;

2) спорным является мнение автора диссертации, что «Практически все термитные стыки рельсов имеют 100 %-й брак ...», это по данным работы [34] 1963 года – тогда шла компания о замене термитной сварки рельсов на контактную сварку. Далее по тексту следует, «что проведенный в работе [43] (Перворочаев Н.М. О содержании газов в литом и катанном металле) анализ данных об изъятии из пути 897 дефектных сварных стыков ТСП (термитная сварка

рельсов) на сети железных дорог за 2009 г. и 9 мес. 2010 г. выявил, что 89 % стыков ТСР (710 шт.) не проработали в течение гарантийного срока». Но к этому времени на Российской железной дороге стали широко внедряться зарубежные технологии термитной сварки, хорошо себя зарекомендовавших для сварки других рельсов, а отечественная технология стала вытесняться и на ее выполнение стали принимать случайных людей без соответствующей качественной подготовки, что и привело к понижению качества выполняемых работ.

3) в подразделе 1.3 перечисляются пункты последовательности технологического процесса, однако, нет оговорки, что «сверловка болтовых отверстий» выполняется только на концевых краях рельсовой плети, а не на всех свариваемых между собой рельсах;

4) расчеты температур, связанных с нагревом, охлаждением и определением времени и скорости охлаждения для термического цикла сварки рельсов являются очень приблизительными и не информативными, т.к. головка, шейка и подошва рельсов значительно различаются по поверхности отвода тепла, а, следовательно, и условиям охлаждения, которые ответственны за конечное образование структуры металла;

5) в тексте диссертационной работы и автореферата имеет место не всегда корректное использование терминов, встречаются отдельные опечатки и стилистические неточности, но количество их можно считать незначительным. Например, в первом разделе и далее по тексту диссертации имеются рассуждения о надежности сваренных стыков рельсов, но ее оценка в изложенном материале диссертации отсутствует.

Отмеченные недостатки несколько снижают качество и полноту исследований, но они не оказывают существенного влияния на главные научные и прикладные результаты диссертационной работы, а представляют собой как бы предложение к проведению дискуссии на обсуждаемую тему.

Заключение

Проведенный анализ материалов диссертации указывает, что по актуальности, содержанию и значимости основных результатов, диссертация Шевченко Романа Алексеевича «Разработка способа и обоснование технологических решений процесса сварки дифференцированно упрочненных железнодорожных рельсов» является логичной, функционально законченной и самостоятельной научно-квалификационной работой, выполненной на достаточно высоком уровне с применением современных расчетных и экспериментальных методов. В диссертации

изложены имеющие существенное значение для развития железнодорожного транспорта Российской Федерации научно обоснованные, предложенные автором методики и технические решения, направленные на повышение прочности сварных стыков железнодорожных рельсов, за счет применения дополнительного кратковременного воздействия электрического тока во время охлаждения рельсового стыка после сварки, что позволяет улучшить структуру металла околошовной зоны.

Внедрение данных разработок вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса в железнодорожной отрасли, в частности, при изготовлении бесстыкового железнодорожного пути.

Диссертационная работа соответствует научной специальности 05.02.10 – «Сварка, родственные процессы и технологии» и соответствует пунктам паспорта специальности: п. 3 «Физические процессы в материалах при сварке и родственных технологиях, фазовые и структурные превращения, образование соединений и формирование их свойств»; п. 4 «Технологические основы сварки плавлением и давлением»; п. 5 «Тепловые процессы и деформации при сварке, пайке и наплавке»; п. 6 «Системы стабилизации, программного управления и регулирования параметров технологии сварки и родственных процессов»; п. 8 «Оборудование для сварки, резки, пайки, наплавки, нанесения покрытий, склеивания».

Диссертация содержит список работ, опубликованных автором по теме диссертации, в тексте приведены ссылки. В диссертации отмечены результаты научных работ, выполненных соискателем лично, а также в соавторстве. При заимствовании материалов или отдельных результатов имеются ссылки на авторов или документы, из которых взяты данные заимствования. Список использованных источников включает 148 наименований.

Основное содержание диссертации опубликовано в 56 печатных работах, в том числе 11 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации материалов кандидатских диссертаций и 7 статей в журналах, индексируемых в системе цитирования SCOPUS. Новизна предложенных технических решений защищена 3 патентами Российской Федерации.

Результаты, полученные автором, обладают научной новизной, имеют значение для развития отрасли знаний в области железнодорожного транспорта.

Автореферат и публикации соискателя полностью отражают основные положения и результаты диссертационной работы.

Отмеченные недостатки несколько снижают качество оформления результатов исследования, но они не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации и в целом не меняют общего положительного впечатления о выполненной диссертационной работе.

Таким образом, можно сделать вывод, что диссертационная работа Шевченко Романа Алексеевича «Разработка способа и обоснование технологических решений процесса сварки дифференцированно упрочненных железнодорожных рельсов» соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденное постановлением правительства РФ от 24.09.2013 года № 842 (в редакции от 01 ноября 2018 года с изменениями от 26 мая 2020 года), которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор диссертации, Шевченко Роман Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 «Сварка, родственные процессы и технологии».

Официальный оппонент

Воронин Николай Николаевич, гражданин Российской Федерации, доктор технических наук (отрасль науки – технические), по специальности 05.22.07 – «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» и 05.02.10 – «Сварка, родственные процессы и технологии», профессор, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» (РУТ) МИИТ

«04» октября 2021 г.

Почтовый адрес: 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9,

Электронная почта: profvnn@mail.ru

Контактные телефоны: +74956842448; +79031181547

