

Как не допустить выброса бесстыкового пути

Статья посвящена проблеме нарушения устойчивости бесстыкового пути, проявляющейся в виде выброса пути, который послужил причиной не одного случая схода подвижного состава. Рассмотрены вопросы обеспечения устойчивости бесстыкового пути и причины, влияющие на возникновение проблемы его устойчивости при движении подвижного состава. В ходе разработки этих вопросов изучено влияние на работу бесстыковой конструкции пути температуры рельсов, а также силы и деформации, возникающей в рельсовой плети. При изучении влияния температуры рельсов использованы исследования специалистов СГУПС по определению значения модуля упругости пути для зимних и летних условий в прямых и кривых участках пути с различными шпалами, проведенные с применением тензометрической аппаратуры на главных путях Забайкальской железной дороги.

Кроме того, в разрезе заявленной темы исследования было рассмотрено изменение служебных свойств рельсов при различном пропущенном тоннаже и температуре. В частности, уделено внимание факту резкого увеличения одиночного выхода рельсов по дефекту 21 (поперечные трещины в головке рельса и изломы из-за них) при понижении температуры в пределах от -25 до -40 °С.

Даны практические рекомендации по обеспечению устойчивости бесстыкового пути при выполнении работ по текущему содержанию и ремонту пути, в том числе по порядку сварки плетей, их проверок дефектоскопными средствами. Обозначены первые признаки потери устойчивости бесстыкового пути под действием сжимающих продольных сил (температурных и/или сил угона) в участках с кривыми, где выброс происходит исключительно в наружную сторону кривой.

Ключевые слова: *бесстыковой путь, устойчивость, угон пути, колесная пара, продольные силы, выброс пути.*

Бесстыковой путь на железных дорогах России и в мировой практике стал прогрессивной и широко распространенной конструкцией верхнего строения, которая применяется в различных эксплуатационных и климатических условиях.

К преимуществам бесстыкового пути можно отнести экономию трудовых затрат на содержание железнодорожного пути и увеличение сроков эксплуатации всех элементов верхнего строения. Полное отсутствие стыков и отличное содержание пути практически исключают дополнительные динамические воздействия, уменьшают сопротивление движению до 12 %, сокращают расходы на ремонты пути и подвижного состава до 10 %. Улучшается токопроводимость, более надежно работают электрические рельсовые цепи, уменьшаются шум и загрязнение окружающей среды пылящими грузами.

Важнейшими задачами развития бесстыкового пути являются: увеличение длин бесстыковых плетей до длины перегона, внедрение тональной автоблокировки, совершенствование элементов железнодорожного пути и системы ведения путевого хозяйства [1, 2].

Особенностью работы бесстыкового пути является наличие в рельсовых плетях высоких продольных температурных сил. Продольные

силы сжатия появляются при повышении температуры рельсовых плетей до значений, превышающих температуру закрепления. Эти силы создают опасность выброса пути. Правильное определение их фактического и необходимого значений, разработка и внедрение способов и устройств, обеспечивающих их стабильность, позволяют усовершенствовать конструкцию бесстыкового пути и систему его эксплуатации, что значительно повышает его технико-экономическую эффективность. Продольные растягивающие силы появляются при снижении температуры. Это может стать причиной излома плети или разрыва рельсового стыка вследствие среза болтов. Также воздействие на бесстыковой путь оказывают силы, появляющиеся при выправке пути в плане и уровне, очистке щебня и других ремонтно-путевых работах. Все эти особенности бесстыкового пути требуют соблюдения норм Инструкции по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути [3].

Продолжают оставаться пока не до конца решенными вопросы, связанные с методикой расчета продольных сил и деформации в бесстыковом пути. Одновременно требуют рассмотрения вопросы совершенствования подкладочных и бесподкладочных конструкций промежуточных скреплений с упругими

клеммами, с определением рациональных сфер их использования; определения оптимального веса и конструкции железобетонных шпал; выбора рационального погонного веса рельсов; уточнения поперечного профиля балластной призмы и т.д.

Температура рельсов и ее влияние на работу бесстыкового пути

Для бесстыкового пути самым важным природно-климатическим фактором является температура: изменение температуры рельса на 1 °С приводит к появлению в средней части плети продольной силы, равной $\approx 20,5$ кН (для рельсов типа Р65).

Годовые перепады температуры рельсов на большом протяжении железных дорог Сибири и Дальнего Востока колеблются от 105 до 119 °С. Особо необходимо отметить большие суточные перепады температуры рельсов, так, на Забайкальской железной дороге они достигают 50–57 °С.

Наиболее опасны такие перепады для апреля – мая, когда балласт уже оттаял, а площадка под шпалой еще увлажнена. При наличии влаги под шпалой сопротивление рельсошпальной решетки поперечному сдвигу уменьшается на 20–30 %, что существенно снижает устойчивость пути выбросу.

Для расчетов условий укладки и тем более для эксплуатации бесстыковых плетей необходимо знать температуру рельса, которая, как правило, не совпадает с температурой воздуха. За счет интенсивной солнечной радиации температура рельса t_p в летние жаркие дни бывает на величину Δt выше температуры воздуха t_b . В общем виде расчетная формула для определения наибольшей температуры рельсов имеет вид:

$$\max t_p = t_b + \Delta t. \quad (1)$$

Величина Δt колеблется от 23 до 24 °С в средней и южной полосе России, от 15 до 16 °С в северных регионах.

Минимум температуры рельса в зимний период обычно совпадает с температурой воздуха, поэтому расчетные минимальные температуры рельсов принимают равными температурам воздуха: $\min t_p \approx \min t_b$.

Западно-Сибирская, Красноярская, Восточно-Сибирская и Забайкальская железные дороги расположены в холодных и очень хо-

лодных климатических зонах, абсолютные температуры достигают $-55 \dots -60$ °С. Известно, что на работоспособность рельсов оказывают значительное влияние низкие температуры.

До достижения величины пропущенного тоннажа 150 млн т бр. эксплуатационные свойства термоупрочненных рельсов остаются практически неизменными. В этот период внутренние микротрещины только начинают развиваться, поэтому опасные концентраторы напряжений отсутствуют. После наработки 250 млн т бр. и образования первоначальных внутренних поперечных трещин влияние отрицательной температуры уже заметно сказывается при ее понижении до $-20 \dots -40$ °С. После наработки 400–500 млн т бр. происходит резкое снижение разрушающей нагрузки. На практике резкое увеличение одиночного выхода рельсов по дефекту 21 (поперечные трещины в головке рельса и изломы из-за них) наблюдается при понижении температуры в пределах $-25 \dots -40$ °С.

В зимнее время повышается жесткость пути за счет снижения упругих характеристик прокладок-амортизаторов, замерзания балластного слоя, а также грунтов, прилегающих к зоне основной площадки земляного полотна.

Специалистами СГУПС определены значения модуля упругости пути для зимних и летних условий с использованием тензометрической аппаратуры [4, 5]. Исследования на главных путях Забайкальской железной дороги показали, что в зимнее время модуль упругости (при понижении температуры до -30 °С) возрастает в следующих пределах: для железобетонных шпал – в 1,68–1,70 раза; для деревянных шпал – в 1,63–1,73 раза (таблица).

Дополнительное влияние на температуру рельсовых плетей (в сторону ее увеличения) оказывает эксплуатация электровозов за счет прохождения по рельсам тягового тока.

На сегодняшний день при расчете температуры закрепления плетей рассматривается влияние изменения температуры окружающей среды на рельсы без учета тяговых токов. В рельсах величина тока зависит от расположения поездов на определенном участке линии, схем питания тяги и т.д. Температура рельсовых плетей под движущимся электровозом может повыситься на $\Delta t = 18$ °С (рисунок).

Модуль упругости подрельсового основания

Род шпал	Эпюра шпал, шт./км	Модуль упругости, МПа	
		летом	зимой
Железобетонные	1 840	100	170
	2 000	110	185
Деревянные	1 840	26	45,5
	2 000	30	49

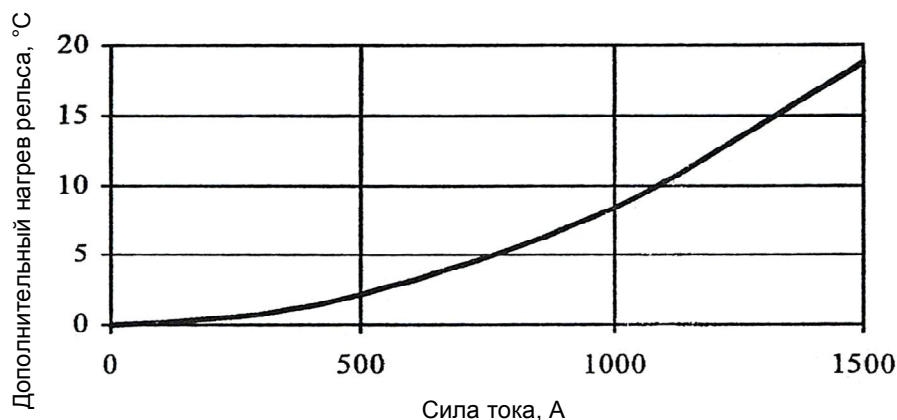


График зависимости дополнительного нагрева рельсов

В условиях большого влияния сезонности и температуры на параметры элементов железнодорожного пути особое внимание необходимо уделять рельсовому хозяйству. Величина изъятия рельсов Р65 в районах с холодным климатом в 1,9–2,1 раза больше, чем в районах с умеренным климатом, а в районах с умеренно холодным климатом – в 1,4–1,5 раза; преобладающими являются дефекты 21.1, 21.2 [6].

С целью снижения влияния низких температур на работу рельсовых плетей при изготовлении бесстыковых плетей на рельсосварочном предприятии рекомендуется сваривать их из термически упрочненных рельсов.

При укладке плетей в путь они должны обязательно свариваться электроконтактной сваркой в плети длиной до блок-участка или перегона. Сразу же после укладки плетей необходимо производить шлифовку головки рельса, это позволит не только снизить интенсивность расстройств пути, но и продлить сроки службы плетей. Последующие шлифовки рельсов должны производиться после пропуска 120–130 млн т бр. груза.

Усложнение условий работы рельсов при пониженных температурах и наблюдающийся более интенсивный их выход по дефектам требуют организации более частых проверок состояния рельсовых плетей и уравнивательных рельсов дефектоскопными средствами. Дополнительный дефектоскопный кон-

троль вводится на весь период действия низких температур. Особое внимание при этом должно обращаться на состояние сварных стыков. При температуре рельсов не ниже -30°C дефектоскопный контроль осуществляется магнитными и ультразвуковыми дефектоскопами, а при температуре ниже -30°C – только магнитными.

Силовые воздействия на рельсовые плети бесстыкового пути

Железнодорожный путь и подвижной состав являются единой механической системой. В реальных эксплуатационных условиях рельсы и колеса подвижного состава имеют неровности, которые являются основной причиной его колебаний и возникающих динамических сил взаимодействия.

Основным видом воздействия на путь является переменное по значению, вероятностное динамическое воздействие от проходящих единиц подвижного состава.

Вертикальная динамическая нагрузка от колес подвижного состава складывается:

- из статической нагрузки;
- составляющей, обусловленной колебаниями кузова на рессорах;
- инерционных составляющих, возникающих при отклонении центра тяжести недрессоренной массы от прямолинейной траектории за счет наличия изолированной

неровности на пути и на колесе, а также непрерывной неровности на колесе.

Боковая нагрузка колеса на рельс Q формируется за счет нажатия гребня колеса на рабочую грань рельса и сил трения, возникающих при поперечном проскальзывании колес по рельсам:

$$Q = F_r + F_t, \quad (2)$$

где F_r – сила нажатия гребня колеса на рельс, кН; F_t – сила трения из-за поперечного скольжения колеса по рельсам, кН.

Горизонтальные продольные силы возникают в рельсах в результате воздействия колес подвижного состава, а также вследствие изменения их температуры.

В режиме тяги колеса локомотива передают на рельсы продольные силы, которые направлены противоположно движению. В это же время сопротивление перемещению колес вагонов по рельсам вызывает появление продольных сил, совпадающих с направлением движения. Иногда эти силы способствуют продольному перемещению рельсов, т.е. вызывают угон пути. При уgone участка плети изменяется его длина, возникают дополнительные напряжения, влияющие на изменение фактической температуры закрепления.

На угон пути оказывают влияние температурные колебания и тормозные силы. Сила воздействия подвижного состава на рельсы при торможении

$$F_v = N / 2 f Y P, \quad (3)$$

где N – число тормозных осей локомотива, шт.; f – коэффициент трения колеса о рельс; Y – доля сцепного веса, используемая для торможения; P – нагрузка от оси колесной пары на рельс, кН.

При хорошо закрепленном пути от угона эта сила не вызывает угона, а создает напряжение в рельсах, равное:

$$\sigma_v = F_v / F, \quad (4)$$

где F – площадь поперечного сечения рельса (для рельса Р65 $F = 82,6 \text{ см}^2$).

В пути от действия поездов и атмосферных явлений происходит накопление остаточных деформаций, которые приводят к такой неисправности, как волнообразный износ рельсов, который определяет возрастание динамического воздействия подвижного состава на путь. Величина динамической силы,

возникающей при движении колеса по неровности, определяется следующим образом:

$$P_{\text{дин}} = P_0 K_{\text{дин}}, \quad (5)$$

где P_0 – динамическая сила, действующая на путь при отсутствии неровности, кН; $K_{\text{дин}}$ – динамический коэффициент, учитывающий влияние неровности.

Данный коэффициент рассчитывается по формуле

$$K_{\text{дин}} = 1 + 0,000085a / LV^2, \quad (6)$$

где a – глубина неровности, мм; L – длина неровности, м; V – скорость движения, км/ч.

Из-за эксплуатационных дефектов поверхности качения колес ползуны порождают периодические ударные нагрузки, увеличивающие динамическое воздействие подвижного состава на путь. Причем это вызывает возрастание амплитуд как собственных форм колебаний неподрессоренных масс, так и резонирующих стоячих волн в рельсе между соседними колесами тележек.

Взаимодействие пути и подвижного состава происходит также под постоянным воздействием природно-климатических факторов (атмосферные условия, воздушные потоки, влажность, температура). Так, состояние контактирующих поверхностей рельсов и колес (сухие, влажные, обледенелые, покрытые пылью, песком) влияет на взаимодействие колес и рельсов (в частности, на силу тяги).

Предельное состояние бесстыкового пути по устойчивости

Одной из основных проблем устройства и содержания бесстыкового пути является обеспечение его устойчивости. Наличие предельного состояния по устойчивости во время движения подвижного состава определяется несколькими причинами. Во-первых, перед движущимся колесом подвижного состава рельс несколько приподнимается относительно первоначального положения, что сокращает сцепление шпал с щебеночным балластом и сопротивление пути перемещению. Во-вторых, устойчивость подвержена изменениям из-за вибрации позади и впереди поезда, находящегося в движении. В-третьих, из-за угона пути при проходе поезда возникает местное смещение плети с образованием значительных дополнительных сил сжатия

или растяжения, которые вместе с температурными силами могут вызвать нарушение устойчивости пути.

Многие теоретические и экспериментальные исследования направлены на определение *критической* продольной сжимающей силы, вызывающей потерю устойчивости путевой решетки.

Существует несколько подходов к определению этой силы, разработанных в России С.И. Морозовым [7], А.Я. Коганом [8], М.Ф. Вериги [9] и другими.

Большую значимость имели результаты экспериментальных исследований, проведенных на опытном стенде ВНИИЖТа под руководством Е.М. Бромберга [10, 11]. Наблюдения производились на стенде при нагревании рельсов. Было установлено, что процесс потери устойчивости происходит только в горизонтальной плоскости.

При нагревании до температуры t_k продольная сжимающая сила увеличивается до величины N_k , поперечные перемещения рельсошпальной решетки при этом не происходят. Если продолжать повышение температуры, возникают нелинейно изменяющиеся перемещения рельсошпальной решетки, изначально медленно, а затем, при достижении температуры закрепления $t_{зк}$, – весьма быстро. В завершении перемещения приобретают динамический характер и происходит *выброс пути*.

В случае прекращения нагрева рельсовых плетей в промежутке температур рельсов от t_k до $t_{зк}$ и дальнейшем снижении температуры путь оставался деформированным. При последующем нагреве уже искривленного пути выброс происходил при меньших температурах.

Исходя из предложения Е.М. Бромберга, конструкция и интервалы закрепления рельсовых плетей должны быть выбраны так, чтобы не допустить первого критического состояния – начала подвижек рельсошпальной решетки.

В результате наблюдений определено, что при потере устойчивости бесстыкового пути в участках с кривыми выброс происходит исключительно в наружную сторону кривой. Сначала происходит сдвигка рельсошпальной решетки в горизонтальной плоскости на небольших по протяженности участках (8–12 м). Пе-

ред выбросом наружная рельсовая нить в кривой имеет отклонения от исходного положения в плане при щебеночном балласте 15–25 мм.

Допустимое повышение температур рельсов было определено в ходе экспериментальных и теоретических исследований, на основании которых в [10] приведены значения величин Δt для вновь уложенной или переложенной повторно путевой решетки при различных конструкциях верхнего строения пути.

Изменение продольных сил в результате ремонтных работ на пути

При нормальном состоянии балластной призмы и хорошем прикреплении рельсовых плетей к шпалам в процессе эксплуатации не наблюдается остаточных продольных перемещений ни рельсов относительно шпал, ни всей рельсошпальной решетки. Наблюдения бесстыкового пути на эксплуатируемых участках показали, что в период стабилизации после ремонтных работ, связанных с разрыхлением щебеночного балласта, рельсошпальная решетка под действием сил угона перемещается не более чем на 30 мм.

В результате рабочего прохода щебнеочистительной машины в сторону ее движения также происходит продольное перемещение рельсошпальной решетки на величину разницы длин изогнутой оси рельсов и хорды. Процесс такого перемещения можно назвать *выглаживанием*. Этот процесс был проверен методом видеосъемки, например, для машины типа ЩОМ-4М величина Δl составляет 12–15 мм.

Перемещение рельсошпальной решетки, возникающее при проходе тяжелых путевых машин, работающих с вывеской рельсов, суммируется с продольным сдвигом, происходящим в период стабилизации. Опыты показали, что если выправку с подбивкой пути производят ручными электрошпалоподбойками, то при грузонапряженности 40 млн ткм бр. на 1 км в год период стабилизации длится до двух суток, а при грузонапряженности около 100 млн ткм бр. на 1 км в год – не более одних суток.

В связи с остаточными продольными перемещениями λ_c рельсошпальной решетки во время ремонта, включая период стабилизации, в рельсах бесстыкового пути возникают допол-

нительные продольные силы F_y , если начало или конец ремонтируемого участка оказывается не в пределах уравнительного пролета. В начале ремонтируемого участка эта сила будет растягивающей, а в конце – сжимающей.

Практические выводы и рекомендации

Для бесстыкового пути самым важным природно-климатическим фактором является температура, влияющая на изменение температуры рельса.

Годовые перепады температуры рельсов железных дорог Сибири и Дальнего Востока колеблются от 105 до 119 °С. Наиболее опасны суточные перепады температуры рельса для апреля – мая, при наличии влаги под шпалой сопротивление рельсошпальной решетки поперечному сдвигу уменьшается, что снижает устойчивость пути выбросу. Дополнительное влияние на температуру рельсовых плетей (в сторону ее увеличения) оказывает эксплуатация электропоездов за счет прохождения по рельсам тягового тока.

В зимнее время повышается жесткость пути, в связи с чем особое внимание необходимо уделять рельсовому хозяйству. Величина изъятия рельсов Р65 в районах с холодным климатом в 1,9–2,1 раза больше, чем в районах с умеренным климатом; преобладающими являются дефекты 21.1, 21.2 [6].

Усложнение условий работы рельсов при пониженных температурах требует организации более частых проверок состояния рельсовых плетей дефектоскопными средствами. Дополнительный дефектоскопный контроль вводится на весь период действия низких температур. Особое внимание при этом должно обращаться на состояние сварных стыков. При температуре рельсов не ниже –30 °С дефектоскопный контроль осуществляется магнитными и ультразвуковыми дефектоскопами, а при температуре ниже –30 °С – только магнитными.

При укладке плетей в путь они должны обязательно свариваться электроконтактной сваркой в плети длиной до блок-участка или перегона. Сразу же после укладки плетей необходимо производить шлифовку головки рельса, последующие шлифовки рельсов производятся после пропуска 120–130 млн т бр. груза.

В случае потери устойчивости бесстыкового пути в кривых участках пути выброс происходит исключительно в наружную сторону кривой. Изначально возникает сдвигка путевой решетки в горизонтальной плоскости на небольших по протяженности участках (8–12 м). В кривой прямо перед выбросом наружная рельсовая плеть в плане имеет отклонения от исходного положения при щебеночном балласте 15–25 мм.

Библиографический список

1. Бесстыковой путь / В.Г. Альбрехт, Н.П. Виноградов, Н.Б. Зверев и др. М.: Транспорт, 2000. 408 с.
2. Крейнис З.Л., Селезнева Н.Е. Бесстыковой путь. Как устроен и работает бесстыковой путь: Учеб. пособие / Под ред. проф. З.Л. Крейниса. М.: Маршрут, 2005. 84 с.
3. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути. Утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 2788 р. от 29.12.2012 г. М., 2012. 136 с.
4. Николаенко А.А., Величко Д.В., Прудников А.В. Эксплуатация бесстыкового пути в условиях Сибири. Новосибирск, 2010. 132 с.
5. Карпущенко Н.И., Щепотин Г.К., Николаенко А.А. Управление техническим состоянием пути. Новосибирск: НИИЖТ, 1995. 205 с.
6. Классификация дефектов рельсов. НТД/ЦП-1-93. Каталог дефектов рельсов. НТД/ЦП-2-93. Признаки дефектных и остродефектных рельсов. НТД/ЦП-3-93. М.: Транспорт, 1993. 63 с.
7. Морозов С.И. Аналитическое определение критической силы для температурно-напряженного железнодорожного пути в прямых участках // Лесной журнал. 1982. № 5. С. 46–54.
8. Коган А.Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. М.: Транспорт, 1997. 326 с.
9. Вериго М.Ф. Новые методы в установлении норм устройства и содержания бесстыкового пути. М.: Интекст, 2000. 184 с.
10. Бромберг Е.М. Перспективы и проблемы развития бесстыкового пути на железных дорогах СССР // Тр. ВНИИЖТа. Вып. 244. М.: Трансжелдориздат, 1962. С. 5–18.
11. Бромберг Е.М. Экспериментальное изучение устойчивости бесстыкового пути // Тр. ВНИИЖТа. Вып. 244. М.: Трансжелдориздат, 1962. С. 129–163.

A.A. Nikolaenko, P.A. Tretyack, E.S. Antereykin

How to Prevent the Distortion of the Continuous Welded Railway Track

Abstract. The paper investigates the violations of the continuous welded railway track stability which occur as a distortion of the railway track, and is a common cause of the derailling of the rolling stock. The problems of track stability assurance and the factors influencing the emergence of its instability are studied. The impact of the rail temperature on the operation of the continuous welded railway track, as well as the strength and the deformation occurring in the rail were concerned. The present investigation of the temperature influence contains the results obtained by the scientists of the Siberian Transport University, whose study was undertaken with the use of strain-measuring equipment on the main ways of Trans-Baikal Railway, and was aimed at the determination of the values of the track elasticity module in winter and summer conditions, in straight and curved sections with different cross-ties. In the context of the stated problem, the changes of operational properties of the rails under various tonnage and temperature were considered, in particular, a sharp increase in single distortions of the railway track because of the defect 21 (transverse cracks in the rail head and the fractures caused by them) at lowering temperature from -25 to -40 °C is accentuated. Some practical recommendations for the assurance of the continuous welded railway track stability during the maintenance and repairs of the railway track, including the order of rails welding, and their monitoring by the defectoscopic means are suggested. The paper identifies the initial signs of the violations of the continuous welded railway track stability under the longitudinal compressive forces (temperature or creepage) in the sections with curves, where the distortion occurs exclusively outside the curve.

Key words: *continuous welded railway track; stability; creepage; set of wheels; longitudinal force; distortion of the railway track.*

Николаенко Анатолий Арсентьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство» СГУПС, заслуженный работник транспорта РФ. E-mail: iaskway@stu.ru

Третьяк Павел Анатольевич – начальник Службы пути Западно-Сибирской железной дороги.

Антерейкин Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство» СГУПС. E-mail: Antereykin@ngs.ru