

УДК 625.144.4

А.А. Яковлев, И.С. Чернецкая

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ОСЕВЫХ НАГРУЗОК ПРИ ЗАДАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПУТИ

**Аннотация.** Поскольку Россия имеет одну из наиболее крупных и развитых транспортных систем в мире, неотъемлемой частью которой является современная сеть железных дорог, в настоящее время перспективные направления развития связаны с наращиванием объемов поставок рудно-металлургических грузов и грузов топливно-энергетического комплекса, особенно с учетом ее переориентации на глубокое развитие экономических отношений со странами Азии. Важную роль для полноценной реализации экспортного потенциала играет Восточный полигон, при эксплуатации которого решается ряд существенных задач, направленных на максимально эффективное использование имеющейся железнодорожной инфраструктуры. При этом рассматривая увеличение пропускной и провозной способности железнодорожного пути предлагается развивать тяжеловесное движение и использование вагонов с повышенной грузоподъемностью за счет увеличения допустимой осевой нагрузки до 27–30 тонн на ось. В статье приведен пример расчета пути на прочность и выполнен анализ полученных результатов расчетных напряжений в элементах ВСП, а также создана методом численного моделирования упрощенная модель конструкции, с помощью которой были получены сравнительные данные для оценки возможности повышения осевых нагрузок при заданной конструкции пути на сложном участке эксплуатации.

**Ключевые слова:** тяжеловесное движение, осевая нагрузка, расчет на прочность, инженерное моделирование, напряженное состояние.

A.A. Yakovlev, I.S. Chernetskaya

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

## ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF INCREASING AXIAL LOADS FOR A GIVEN TRACK DESIGN

**Annotation.** Since Russia has one of the largest and most developed transport systems in the world, an integral part of which is the modern railway network, currently promising areas of development are associated with increasing the volume of supplies of ore and metallurgical cargo and cargo of the fuel and energy complex, especially taking into account its reorientation on the deep development of economic relations with Asian countries. An important role for the full realization of export potential is played by the Eastern range, during the operation of which a number of significant tasks are solved, aimed at the most efficient use of the existing railway infrastructure. At the same time, considering an increase in the throughput and carrying capacity of the railway track, it is proposed to develop heavy-haul traffic and the use of cars with increased load capacity by increasing the permissible axle load to 27–30 tons per axle. The article provides an example of a track strength calculation and an analysis of the obtained results of design stresses in VSP elements, and also a simplified design model was created using the numerical modeling method, with the help of which comparative data were obtained to assess the possibility of increasing axial loads for a given track design in a complex operation area.

**Keyword:** heavy movement, axial load, strength calculation, engineering modeling, stress state.

### Введение

Актуальные вопросы развития экономики страны связаны с увеличением провозной способности железных дорог Восточного полигона, что ведет за собой увеличение объемов грузов, перевозимых железнодорожным транспортом, в том числе тяжеловесными поездами и инновационными вагонами с повышенной осевой нагрузкой [1]. Повышение осевой нагрузки, на сегодняшний день, является одним из возможных способов повышения производительности железных дорог в целом. При повышении осевой нагрузки можно добиться увеличения провозной способности участков, повышения производительности локомотивов

и локомотивных бригад, создать резерв пропускной способности и обеспечить сокращение потребления энергоресурсов на тягу поездов, все это позволит уменьшить трафик на железнодорожных путях и повысить скорость доставки грузов.

В рамках Стратегии развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года [2], стоят задачи повышения осевой нагрузки для грузовых вагонов при текущем уровне развития инфраструктуры. Одним из важнейших этапов «дорожной карты» стратегии стала полноценная опытная эксплуатация грузовых вагонов, специально разработанных под осевую нагрузку 27 тс [3], и переход к освоению подвижного состава следующего поколения — с нагрузками более 30 тс.

Вагоны с нагрузкой 30 тонн на ось позволят увеличить перевозку грузов на направлениях с ограниченной пропускной способностью, их целесообразно использовать на самых грузонапряженных направлениях сети - для массового вывоза угля, руды, щебня и других грузов, перевозимых в универсальном подвижном составе [4,5,6,7]. Нужно отметить, что организация тяжеловесного движения важна во время летних путевых работ на сети РЖД. Тогда вагоны повышенной грузоподъемности становятся единственным способом увеличить провозную способность и вывезти предъявленные объемы грузов. Также увеличение массы грузовых поездов при сохранении составности особенно важно в условиях ограниченности длины приемо-отправочных путей на станциях.

Повышение нагрузок на ось грузовых вагонов является простым решением и не требует значительных инвестиций в инфраструктуру, однако, при повышении осевых нагрузок необходимо снизить динамическую нагрузку на рельсы [8], и учесть изменения при взаимодействии пути и подвижного состава, так как увеличение грузонапряженности влечет рост эксплуатационных расходов на содержание железнодорожного полотна [9].

Главным ограничивающим фактором для развития тяжеловесного движения продолжает оставаться состояние железнодорожной инфраструктуры и так называемых точек перелома весовых норм, на которых крупные тяжеловесные маршруты разбиваются на меньшие по количеству вагонов и нагрузке.

Повышать осевую нагрузку следует постепенно, на специально подготовленных участках инфраструктуры, также использовать вагоны с нагрузкой 30 тонн в России целесообразнее на закольцованных маршрутах без искусственных сооружений.

Основная проблема состоит в необходимости определения прогноза работы инфраструктуры при изменении уровня её нагруженности.

Расчеты элементов ВСП на прочность с определением нагрузок и напряжений выполняются по методике оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности, утвержденной распоряжением № 270бр от 22 декабря 2017 года [10].

#### **Расчет железнодорожного пути на прочность**

Конструкция верхнего строения пути по прочности, устойчивости и состоянию должна обеспечивать безопасное и плавное движение поездов с наибольшими скоростями, установленными для данного участка. Это требование ПТЭ [11] необходимо выполнять в условиях непрерывного действия различных динамических нагрузок и природных воздействий, а также с учетом накопления остаточных деформаций всех элементов пути.

В основе требований, предъявляемых к конструкции верхнего строения пути, лежат условия обеспечения его прочности, устойчивости и долговечности. Расчетами на прочность определяется возможность эксплуатации железной дороги с заданной конструкцией и состоянием под заданными нагрузками в заданных условиях эксплуатации, а целесообразный тип верхнего строения пути определяется технико-экономическими расчетами [12].

Методика расчетов верхнего строения пути на прочность позволяет решить ряд задач:

- определение напряжений и деформаций в элементах ВСП в заданных условиях эксплуатации;
- оценка возможности повышения осевых нагрузок и скоростей движения при заданной конструкции пути;
- определение возможности работоспособности конструкции пути до очередного капи-

тального ремонта;

- анализ причин потери прочности и устойчивости пути;
- проектирование новых конструкций.

Современная методика распространяется на конструкции ВСП с рельсами длиной 12,5 м и 25 м, в том числе на рельсовые элементы стрелочного перевода (рамные рельсы, переводная кривая и др.).

### Предпосылки и допущения к расчетной схеме

Под воздействием подвижного состава в элементах верхнего строения пути возникают напряжения и деформации [13]. Зависимость их от сил, действующих на путь, сложна и пока не поддается точному определению.

Поэтому в расчете приняты следующие предпосылки и допущения:

- рельс считается балкой бесконечной длины неизменного сечения, лежащей на сплошном упругом (равноупругом) основании;
- вертикальные силы считаются приложенными в плоскости симметрии рельса, т.е. не учитывается подуклонка рельсов и влияние колес;
- вертикальные силы от расчетного колеса принимаются как максимально вероятные  $P_{расч}$ , определяемые с уровнем вероятности их неперевышения  $\Phi=0,994$ . Одновременно давления от соседних колес тележки принимаются по средним значениям;
- реакции основания считаются двусторонними, линейно зависящими от осадки основания ( $q = -Uy$ );
- характеристики пути ( $U$ ,  $k$  и др.) считаются детерминированными (неслучайными, постоянными для заданных условий) величинами;
- расчет ведется по допускаемым напряжениям;
- за расчетное сечение пути принимается такое, в котором расположена изолированная неровность. При этом подвижной состав проходит расчетное сечение пути максимальным сжатием рессор;
- влияние климатических факторов учитывается лишь при температурных воздействиях на рельсы и изменениях жесткости пути ( $U$ ,  $k$ ) при промерзании балласта и земляного полотна;
- продольные температурные силы непосредственно расчетной схемой не учитываются;
- влияние горизонтальных поперечных сил и эксцентриситета приложения вертикальных сил учитывается специальным коэффициентом  $f$ .

Несмотря на большое число допущений расчет дает достаточно удовлетворительные результаты. Это объясняется тем, что входящие в формулы параметры взяты из экспериментов [6].

### Исходные данные

Расчеты выполнялись на примере участка Большой Луг - Подкаменная, для кривой радиусом 293 м с эпюрой шпал 2000 шт/км, рельсами типа Р65 с приведенным износом 6 мм, промежуточными скреплениями ЖБР65-ПШМ, на железобетонных шпалах ШЗ-ДК, балласт - щебень. Поездная нагрузка представлена в виде 4-хосного полувагона на тележке модели 18-100 и осевых нагрузок 25 тс, 27 тс и 30 тс. Скорость грузового движения на данном участке равна 60 км/ч. Исходные данные приведены в таблицах 1 и 2.

Расчеты проводились с помощью программы Microsoft Excel.

Таблица 1 - Расчётные характеристики подвижного состава

Характеристика	Ед. изм.	4-осный вагон на тележке модели 18-100
Скорость движения	км/ч	60
Вес необрессоренных масс, приходящихся на одно колесо $q_k$	Н	9950
Приведенная к колесу жесткость рессорного подвешивания $J_p \cdot 10^6$	Н/м	2,00
Статический прогиб рессорного подвешивания $f_{ст}$	м	0,048
Диаметр колес $d$	м	0,95
Количество осей в тележке	шт	2
Расстояние между 1-й и 2-й	м	1,85

осями $l_i$	2-й и 3-й		6,75
-------------	-----------	--	------

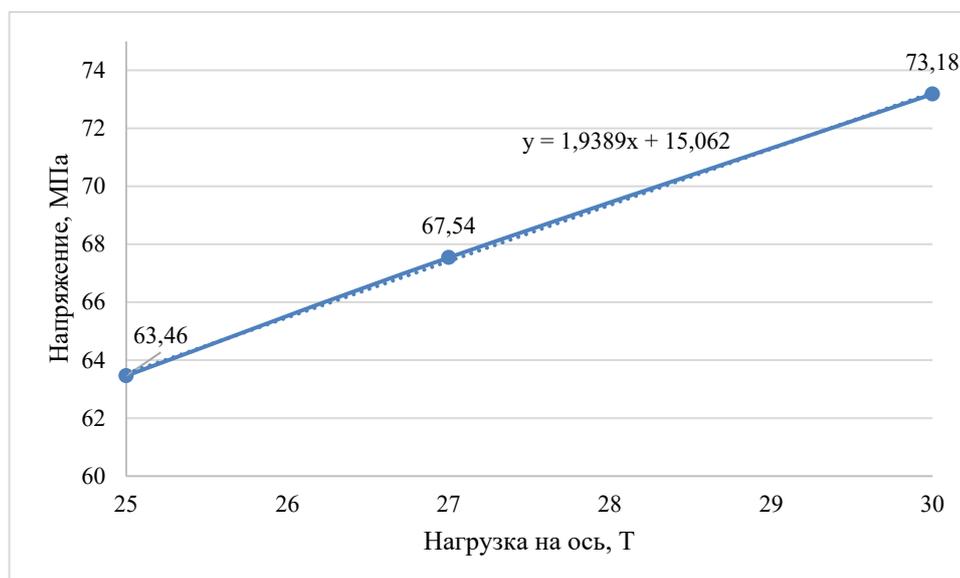
**Таблица 2 - Расчётные данные параметров пути Р65(6)/2000(ЖБ)Щ/ЖБР-65ПШМ**

Характеристика	Ед. изм.	Значение
U	МПа	120
$l_{ш} \cdot 10^{-2}$	м	50
L		0,261
$a_0$		0,403
$\omega \cdot 10^{-4}$	м <sup>2</sup>	518
$\Omega_a \cdot 10^{-4}$	м <sup>2</sup>	3092
$b \cdot 10^{-2}$	м	27,6
r		0,7
$h \cdot 10^{-2}$	м	55

Расчет элементов верхнего строения пути на прочность ведется по допускаемым напряжениям, которые ограничивают максимальные расчетные напряжения от поездной нагрузки. Расчет проводился для 4-хосного вагона при трех вариантах его загрузки, главным образом, для оценки расчетных напряжений в элементах ВСП. Результаты расчетов сведены в таблицу 3 и наглядно представлены в виде диаграмм на рисунках 1-4.

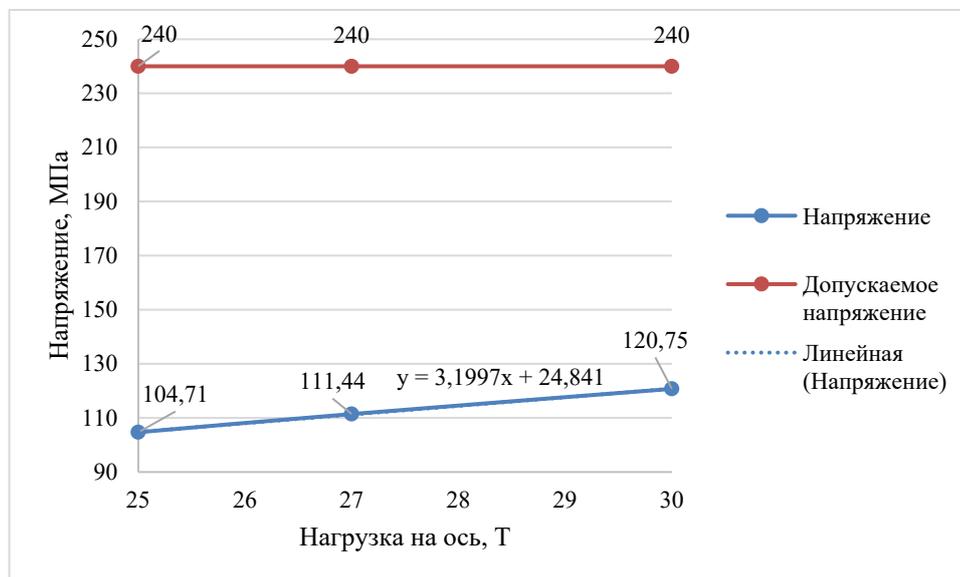
**Таблица 3 - Результаты расчета напряжений**

Скорость движения, км/ч	Значения напряжений при нагрузке на ось тележки, МПа		
	25 тс	27 тс	30 тс
60	в подошве по оси рельса		
	63,46	67,54	73,18
	в кромках подошвы рельса		
	104,71	111,44	120,75
	в подрельсовых прокладках		
	1,14	1,21	1,33
	в балластном слое под шпалой в подрельсовом сечении		
0,191	0,203	0,222	



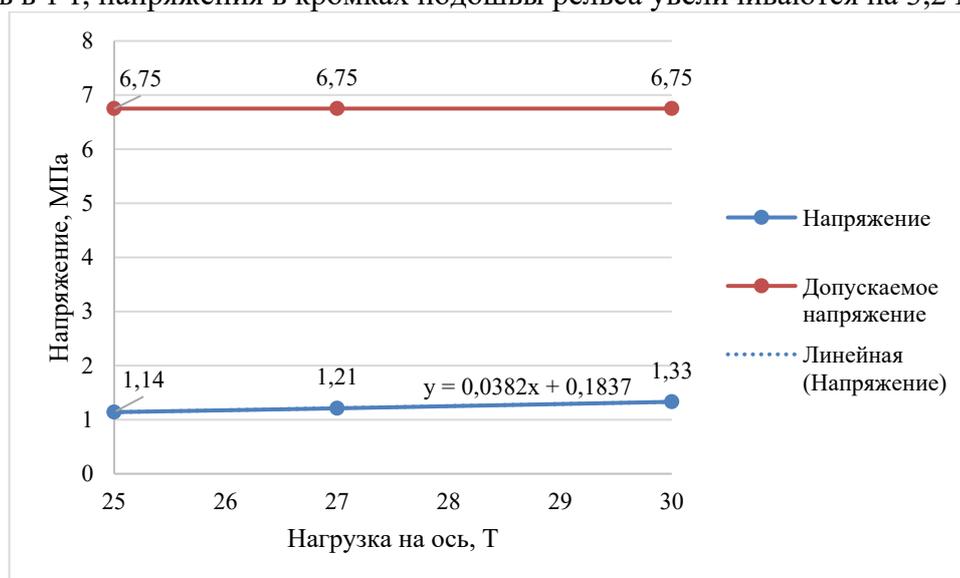
**Рис. 1. Зависимость нормальных изгибных напряжений в подошве по оси рельса от осевой нагрузки**

По данным рисунка 1 можно сделать вывод, что изменение напряжения имеет линейную зависимость и описывается уравнением  $y = 1,9389x + 15,062$ , однако при переходе от осевой нагрузки 25 т на нагрузку 27 т изменение напряжения на 1 т составляет 2,04 МПа, при переходе с 27 т на 30 т изменение напряжения на 1 т составляет 1,88 МПа.



**Рис. 2. Зависимость напряжений в кромках подошвы рельса от осевой нагрузки**

Напряжения в кромках рельса так же как и изгибные напряжения имеют линейную зависимость, это связано с тем, что напряжения в кромке напрямую зависят от изгибного напряжения и находятся как произведение изгибного напряжения на коэффициент переводящий осевые напряжения в подошве в кромочные напряжения, он учитывает влияние горизонтальных поперечных сил и внецентренное приложение вертикальных сил. Напряжения в кромках подошвы рельса можно найти по уравнению  $y = 3,1997x + 24,841$ , в среднем при увеличении нагрузки на ось в 1 т, напряжения в кромках подошвы рельса увеличиваются на 3,2 МПа.



**Рис. 3. Зависимость напряжений в подрельсовых прокладках от осевой нагрузки**

По данным рисунка 3 можно сделать вывод, что изменение напряжения также имеет линейную зависимость и описывается уравнением  $y = 0,0382x + 0,1837$ . С изменением осевой нагрузки напряжение в подрельсовой прокладке меняется незначительно и далеко от допуска-

емого напряжения.

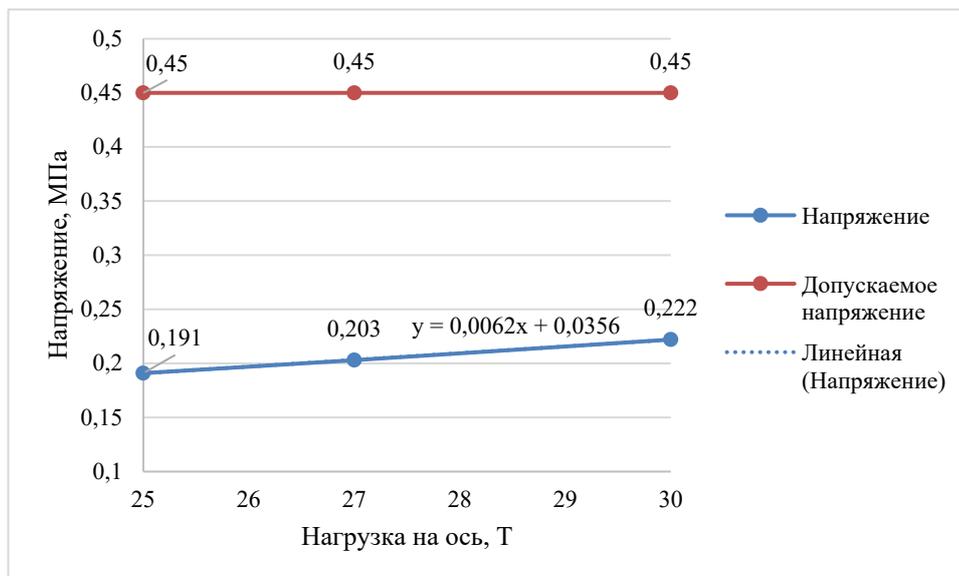


Рис. 4. Зависимость напряжений в балластном слое под шпалой в подрельсовом сечении от осевой нагрузки

Изменение напряжения имеет линейную зависимость и описывается уравнением  $y = 0,0062x + 0,0356$ .

#### Оценка возможности повышения осевой нагрузки в программном комплексе Simcenter Femap

Femap - это автономное программное обеспечение для осуществления пре- и постпроцессинга при инженерном моделировании и анализе [14]. Femap не зависит от CAD-программ, позволяет импортировать геометрические модели из всех основных CAD-платформ и поддерживает большинство CAD-форматов. Simcenter Femap также работает совместно с широким спектром КЭ решателей, включая программное обеспечение Simcenter Nastran.

Для расчета напряжений в программе nanoCAD с помощью чертежей и краткого описания элементов ВСП была создана упрощенная модель конструкции, состоящая из рельса тип Р-65, прокладки ЦП.363, фрагмента железобетонный шпалы, а именно её подрельсовой части [15]. Модель изображена на рисунке 5.

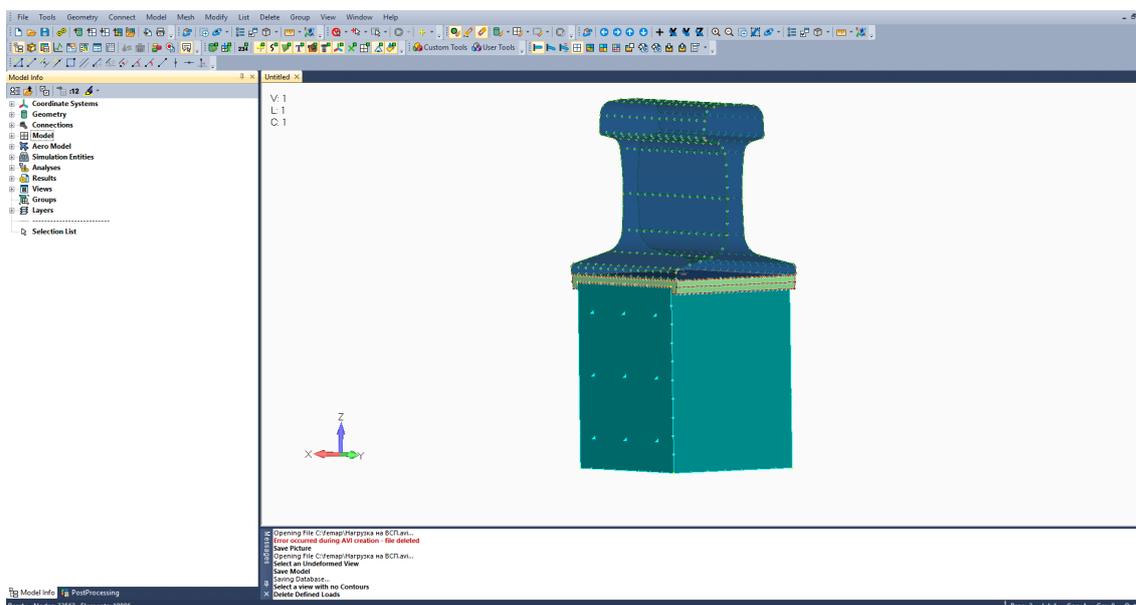


Рис. 5. Упрощенная модель ВСП

Для проведения расчета в программном комплексе были заданы свойства материалов для каждого элемента ВСП. После задания свойств материалов, между элементами были созданы контактные поверхности для передачи нагрузки от одного элемента к другому. В дальнейшем каждый элемент был “разбит” на сетку конечных элементов. Модель готовая к расчету показана на рисунке 6.

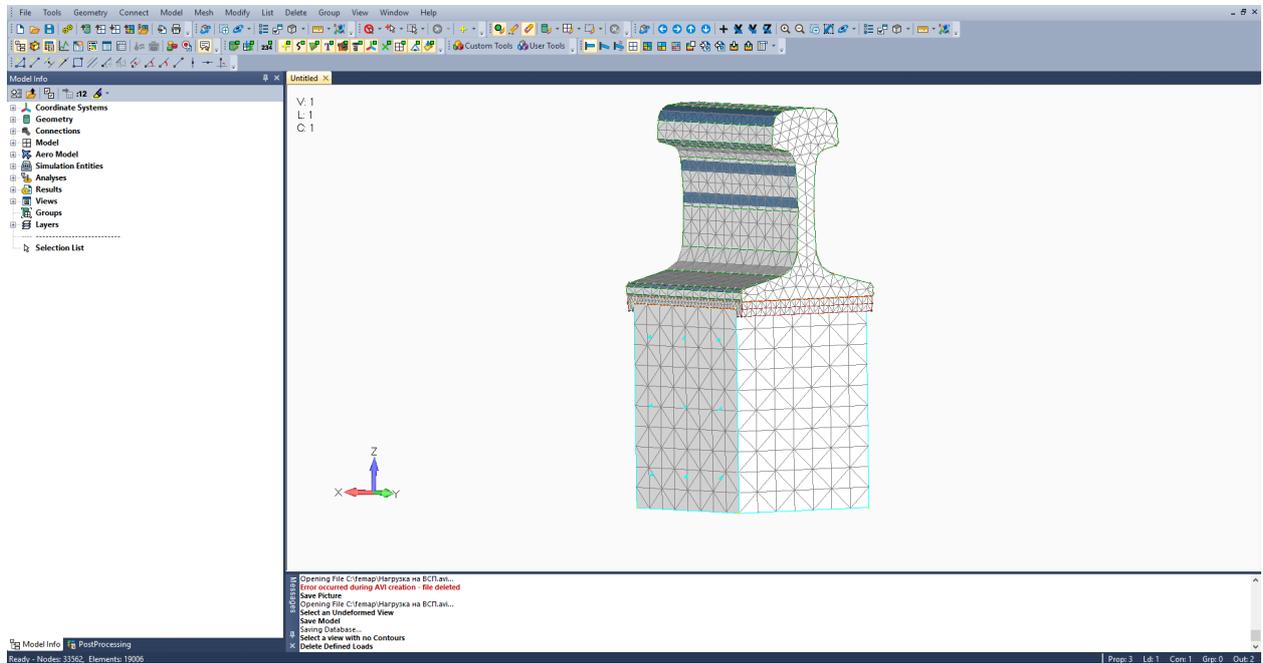


Рис. 6. Модель с заданными свойствами и с сеткой конечных элементов

После создания модели и придания ей свойств, был произведен расчет при осевой нагрузке 30 т. Для расчета использовалась нагрузка от колеса на рельс равная 194376 Н. Результаты расчета показаны на рисунке 7.

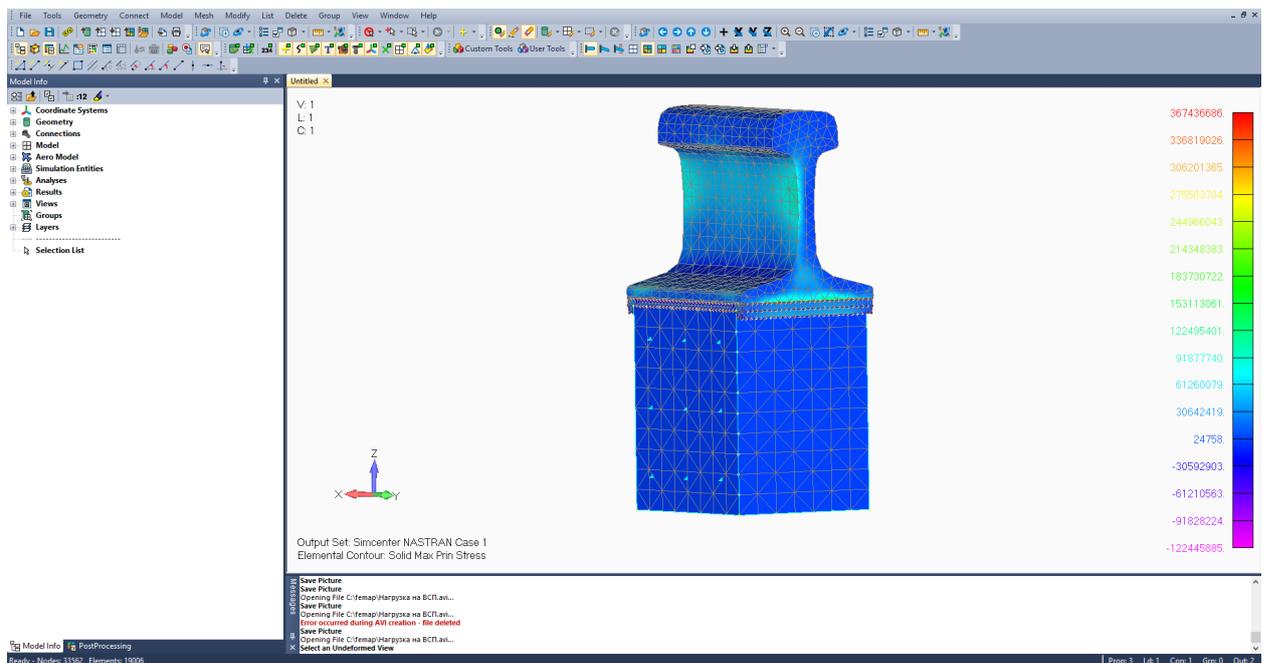


Рис. 7. Результаты расчета

После проведения расчета были получены напряжения в кромках подошвы рельса и в

подрельсовой прокладке, для наглядности напряжения сведены в таблицу 4.

**Таблица 4 - Напряжения в элементах ВСП**

Зона напряжений	Напряжения, МПа	Напряжения, полученные расчетным путем, МПа	Допускаемые напряжения, МПа
Кромки подошвы рельса	91,88-122,50	120,75	240
Подрельсовая прокладка	0,90-3,06	1,33	6,75

### **Заключение**

Таким образом можно сделать вывод, что напряжения, полученные путем моделирования и напряжения, полученные расчетным путем близки по своим значениям и не превысили предельно допускаемые. Следовательно, существующая конструкция железнодорожного пути подлежит повышению осевой нагрузки до 30 т и повышение осевой нагрузки — закономерное развитие отрасли и ключевой тренд сегодняшнего дня, однако при повышении нагрузок нужно учитывать ограничивающие факторы, среди которых:

- возрастание расходов на ремонт и текущее содержание пути;
- наличие перевальных участков, на которых уклоны круче руководящих;
- повышение износа элементов ВСП, прежде всего износ поверхности катания рельсов в кривых участках пути;
- необходимость инвестиций в реконструкцию и замену искусственных сооружений;
- сложность работы системы электроснабжения поездов из-за повышенной массы;
- необходимость ограничения скорости по изношенным объектам инфраструктуры;
- износ объектов электрификации.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Ресельс А.П., Филатов Е.В Проблемы путевого хозяйства при реализации тяжеловесного движения на Восточном полигоне / Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы Восьмой Междунар. науч.-практ. конф., 28 марта – 01 апреля 2017 г. Иркутск : в 2 т. – Иркутск : ИрГУПС, 2017. – Т. 1. С. 630–634.
2. Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021 N 3363-р "О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года" [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&id=6396](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396). (Дата обращения: 12.05.2024).
3. Соколов А.М., Орлова А.М., Романов А.В., Наркизова Е.А., Семенов Е.Ю. Эффективность эксплуатации вагонов с повышенной осевой нагрузкой // Транспорт Российской Федерации. 2018. №1(74) С. 62–65.
4. Официальный сайт ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://rzd.ru> (Дата обращения: 12.05.2024).
5. Беседин И.С. Развитие тяжеловесного движения на железных дорогах мира / И.С. Беседин, Л.А. Мугинштейн, С.М. Захаров // Железные дороги мира. 2010. №9. С. 39–48.
6. Мугинштейн Л.А., Шенфельд К.П. Развитие тяжеловесного движения грузовых поездов // ОАО "Науч.-исслед. ин-т ж.-д. транспорта" ВНИИЖТ. – Москва : Интекст, 2011. – 75 с.
7. Захаров С.М., Шенфельд К.П. Развитие тяжеловесного движения в мире // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2013. № 4. С. 9-18. Электрон. копия доступна на сайте Науч. электрон. б-ки eLibrary. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19624056> (дата обращения: 25.06.2024).
8. Бороненко Ю.П., Третьяков А.В., М. В. Зимакова М.В. Оценка возможности и эффективности повышения осевых нагрузок грузовых вагонов //Техника железных дорог. 2017. №1(37). С. 32–37.

9. Ресельс А.П., Филатов Е.В., Ковенькин Д.А., Баранов Т.М. Экспериментальное определение боковых сил в системе "колесо - рельс" при движении поездов по горно-перевальному участку // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 1 (65). С. 75–84.

10. Распоряжение ОАО "РЖД" от 22.12.2017 N 2706р "Об утверждении Методики оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности" (Вместе с Методикой) [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.expkons.ru/newdoc.php?review=01.03.2018> (Дата обращения: 12.06.2024).

11. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 23 июня 2022 г. N 250 "Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации" [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=1827> (Дата обращения: 12.05.2024).

12. Виды расчетов пути. Цель и задачи расчета [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://studfile.net/preview/7665512/>

13. Насников, Д. Н. Проектирование и расчет элементов верхнего строения железнодорожного пути : учебное пособие / Д. Н. Насников, Е. В. Филатов. — Иркутск : ИрГУПС, 2022. — 120 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/342098> (дата обращения: 17.07.2024)

14. Ковенькин Д.А., Гераськина Е.О. Моделирование работы конструкций железнодорожного пути численными методами : лабораторный практикум по дисциплине «Программное обеспечение расчетов конструкций железнодорожного пути» / Д.А. Ковенькин, Е.О. Гераськина. – Иркутск : ИрГУПС, 2015. – 124 с.

15. Альбом элементов и конструкций верхнего строения железнодорожного пути: Утв. Главный инженер Управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры –филиала ОАО «РЖД» В.М. Ермаков 19.12.2011 г.// [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.tdesant.ru/info/item/131> – (дата обращения 01.06.2024г.)

## PREFERENCE

1. Resels A.P., Filatov E.V. Problems of track facilities during the implementation of heavy-lift traffic at the Eastern training ground / Transport infrastructure of the Siberian region: materials of the Eighth International. scientific-practical Conf., March 28 – April 1, 2017. Ir-Kutsk: in 2 volumes. – Irkutsk: IrGUPS, 2017. – Т. 1. P. 630–634.

2. Order of the Government of the Russian Federation dated November 27, 2021 N 3363-r "On the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period until 2035" [Electronic resource] // Access mode: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&id=6396](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396). (Date of access: 05/12/2024).

3. Sokolov A.M., Orlova A.M., Romanov A.V., Narkizova E.A., Semenov E.Yu. Efficiency of operation of cars with increased axial load // Transport of the Russian Federation. 2018. No. 1(74) pp. 62–65.

4. Official website of JSC Russian Railways [Electronic resource]. –Access mode: <http://rzd.ru> (Date of access: 05/12/2024).

5. Besedin I.S. Development of heavy-haul traffic on world railways / I.S. Besedin, L.A. Muginshtein, S.M. Zakharov // Railways of the world. 2010. No. 9. pp. 39–48.

6. Muginshtein L.A., Shenfeld K.P. Development of heavy-haul traffic of freight trains // JSC "Scientific Research Institute of Railway Transport" VNIIZhT. – Moscow: Intext, 2011. – 75 p.

7. Zakharov S.M., Shenfeld K.P. Development of heavy-haul traffic in the world // Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport. 2013. No. 4. P. 9-18. Electron. a copy is available on the Scientific website. electron. eLibrary. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19624056> (access date: 06/25/2024).

8. Boronenko Yu.P., Tretyakov A.V., M.V. Zimakova M.V. Assessment of the possibility and effectiveness of increasing the axle loads of freight cars // Railway technology. 2017. No.

1(37). pp. 32–37.

9. Resels A.P., Filatov E.V., Kovenkin D.A., Baranov T.M. Experimental determination of lateral forces in the “wheel-rail” system when trains move along the mountain-pass section // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2020. No. 1 (65). pp. 75–84.

10. Order of JSC Russian Railways dated December 22, 2017 N 2706r “On approval of the Methodology for assessing the impact of rolling stock on the track according to the conditions for ensuring reliability” (Together with the Methodology) [Electronic resource] // Access mode: <http://www.expkons.ru/newdoc.php?review=03/01/2018> (Date of access: 06/12/2024).

11. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated June 23, 2022 N 250 “On approval of the Rules for the technical operation of railways of the Russian Federation” [Electronic resource] // Access mode: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=1827> (Date of access: 05/12/2024).

12. Types of path calculations. The purpose and objectives of the calculation [Electronic resource] // Access mode: <https://studfile.net/preview/7665512/>

13. Nasnikov, D. N. Design and calculation of elements of the upper structure of the railway track: textbook / D. N. Nasnikov, E. V. Filatov. - Irkutsk: IrGUPS, 2022. - 120 p. — Text: electronic // Lan: electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/342098> (access date: 07/17/2024)

14. Kovenkin D.A., Geraskina E.O. Modeling the operation of railway track structures using numerical methods: laboratory workshop in the discipline “Software for calculations of railway track structures” / D.A. Kovenkin, E.O. Geraskina. – Irkutsk: IrGUPS, 2015. – 124 p.

15. Album of elements and structures of the upper structure of the railway track: Approved. Chief Engineer of the Directorate of Tracks and Facilities of the Central Directorate of Infrastructure - a branch of JSC Russian Railways V.M. Ermakov 12/19/2011 // [Electronic resource] – Access mode: <https://www.tdesant.ru/info/item/131> – (access date 06/01/2024)

#### **Информация об авторах**

*Яковлев Артем Андреевич* – студент 5 курса Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [ahramey1@yandex.ru](mailto:ahramey1@yandex.ru)

*Чернецкая Ирина Сергеевна* – старший преподаватель кафедры «Путь и путевое хозяйство» Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [Chernetskaya\\_IS@irgups.ru](mailto:Chernetskaya_IS@irgups.ru)

#### **Information about the author**

*Yakovlev Artem Andreevich* - 5th year student of the Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [torresartem92@gmail.com](mailto:torresartem92@gmail.com)

*Chernetskaya Irina Sergeevna* – senior lecturer at the Department of «Way and Track Management», of the Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: [Chernetskaya\\_IS@irgups.ru](mailto:Chernetskaya_IS@irgups.ru)