

УДК 625.03

Инж. А. В. МАКАРОВ

Оценка состояния конструкций креплений в пути в зависимости от их деформируемости

Аннотация. Контролировать состояние конструкций креплений необходимо для снижения динамического взаимодействия пути и подвижного состава, уменьшения расстройств подстилающего слоя основания, выявления неисправностей в начальной стадии, а также обеспечения безопасности эксплуатации железнодорожного пути.

Статья посвящена вопросам выявления изношенных и деформированных элементов креплений, уложенных в пути. Способ выявления основан на сравнении деформаций конструкций при нагруженном и ненагруженном состоянии пути. По этим данным рассмотрены вопросы определения зависимости сопротивления конструкций креплений от их фактического состояния. Для выявления зависимости деформируемости крепления от величины момента затяжки клеммных болтов проведен ряд лабораторных исследований. На примере конструкции крепления ЖБР-65 можно сделать вывод о возможности измерения осадки рельса относительно шпалы для выявления проблемных элементов прямо в пути с привязкой к текущему пикетажу.

Ключевые слова: деформируемость конструкций креплений; зависимости величины деформируемости; определение состояния креплений

Результаты длительной эксплуатации бесстыкового пути показывают, что бесстыковой путь с железобетонными шпалами является надежной и эффективной конструкцией, при этом параметры рельсовых креплений, а также их состояние существенно влияют на надежность и безопасность пути, что ведет к значительному возрастанию затрат при его содержании. В процессе эксплуатации нередко происходит излом пружинного основания креплений, ослабление момента затяжки прижимных болтов и шурупов, ослабление состояния крепления в результате деформации и разрушения резиновых прокладок. Надежность крепления должна быть такой, чтобы в процессе текущего содержания пути проводились работы только по смазке и подтягиванию болтов, регулировке рельсов по уровню. Вероятность безотказной работы металлических и трудносменяемых электроизолирующих элементов крепления до конца межремонтного периода должна быть не менее 0,95 [1, с. 9].

Для снижения динамического взаимодействия пути и подвижного состава, уменьшения расстройств подстилающего слоя основания, выявления неисправностей в начальной стадии, а также обеспечения безопасности эксплуатации железнодорожного пути необходимо контролировать состояние конструкций креплений. Для определения способа контроля необходим ряд лабораторных исследований с нагружением

образца крепления и измерением параметров просадки головки рельса относительно шпалы. Эта величина будет являться параметром деформируемости конструкции крепления.

Наиболее широкую эксплуатационную проверку прошли пружинные бесподкладочные крепления ЖБ и их улучшенная модификация ЖБР-65 (рис. 1), позволяющая осуществлять регулировку положения рельсов по высоте до 20 мм [2, с 101; 3]. В лабораторных условиях с целью определения способа и методов контроля состояния креплений в пути рассмотрена система статического нагружения с выявлением зависимости деформируемости от приложенной нагрузки, момента затяжки закладных болтов и состояния под-рельсовой прокладки.

Для опытного исследования принята конструкция ЖБР-65, представленная на рис. 1.

Конструктивные особенности креплений ЖБР-65. Узел крепления ЖБР-65 и ЖБР-65Ш состоит из двух упругих прокладок, двух упорных скоб, прокладки, двух пружинных клемм, двух скоб ЖБР и двух закладных болтов с гайками или двух путевых шурупов с шестигранной головкой. Взамен упорных скоб и упругих прокладок в креплениях ЖБР-65 и ЖБР-65Ш могут применяться боковые полимерные упоры. Подошва рельса размещается между упорными скобами, которые опираются на упругие прокладки. Под подошву рельса устанавливается прокладка. На упорные скобы устанавливаются пружинные клеммы, которые прижимают рельс к шпале при помощи скоб и закладных

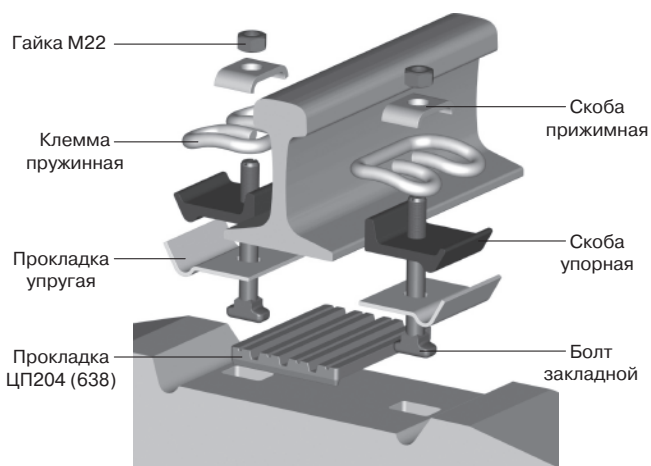


Рис. 1. Конструкция ЖБР-65

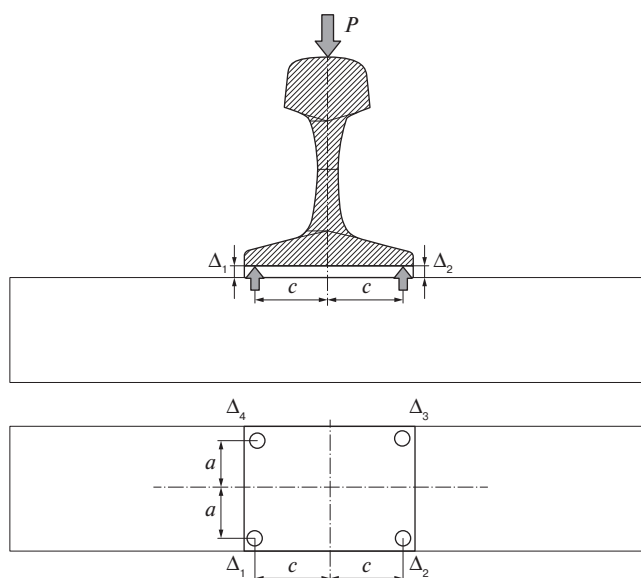


Рис. 2. Схема нагружения конструкции

болтов с гайками или путевых шурупов с шестигранной головкой. В случае применения бокового полимерного упора упорные скобы и упругие прокладки не применяются [4, с. 2–3].

Статическая жесткость конструкций креплений характеризуется нелинейной зависимостью между приложенной нагрузкой и упругой деформацией. При сборке узла рельсового крепления под действием клеммного нажатия упругая прокладка и пружинная клемма получают первую деформацию. В процессе накатывания колеса с образованием дополнительной нагрузки P происходит дальнейшее сжатие резиновой

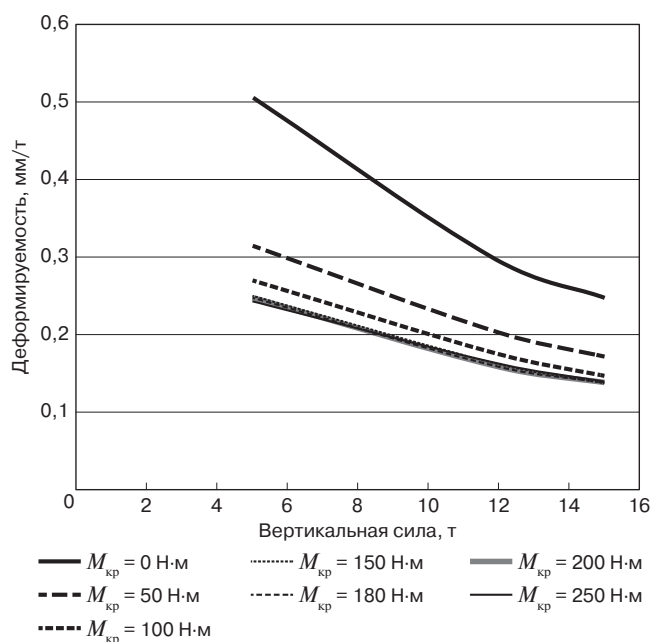


Рис. 3. Зависимость деформируемости крепления от приложенной вертикальной силы для каждого из моментов затяжки болтов

прокладки Δ_{cp} с одновременным ослаблением клеммного нажатия в интервале Δ_{cp} , равно, как правило, 1,5–2,0 мм; жесткость прокладки и двух клемм обычно считают постоянной величиной [5, с. 83].

Выборочная затяжка болтов, особенно с перетяжкой их на отдельных шпалах, создает очаги неравножесткости и снижает срок службы прокладок; повышение монтажного усилия на шпальную прокладку с 2 до 3 тс сокращает ее ресурс на 15%, разница с жесткостью пути при нормальной монтажной затяжке болтов составит уже 21% [6, с. 73]. Ослабление клеммного нажатия может означать дефект или изношенность и негодность элементов конструкции крепления.

В зависимости от наработки тоннажа количество негодных и дефектных элементов на 1 км верхнего строения пути является дополнительным критерием для выбора участков, подлежащих реконструкции или капитальному ремонту на новых материалах, при этом процент негодных элементов креплений определяется выборочным порядком путем детального обследования на пикете креплений на двух 25-метровых звеньях на бесстыковом пути на двух отрезках пути длиной по 25 м, произвольно выбранных в начале и середине плети (вне уравнильных рельсов) [7, с. 38–41].

Для экспериментального определения значения просадки рельса относительно шпалы проведен ряд лабораторных экспериментов.

Схема нагружения данной конструкции представлена на рис. 2.

В данном случае при проведении лабораторных исследований момент затяжки принят от 0 до 250 Н·м с шагом 50 Н·м для построения зависимостей изменения деформации от приложенной нагрузки [8, с. 5].

В эксперименте для каждой ступени затяжки проведено по пять серий нагружений с вертикальной силой 5, 11,5, 15 т, по результатам среднее значение перемещений не превышает 4 мм.

Среднее значение датчиков перемещений Δ_{cp} определяется по формуле

$$\Delta_{cp} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4}{4},$$

где $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, \Delta x_4$ — показания датчиков перемещений.

Среднее квадратическое отклонение σ по результатам измерений находим по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2},$$

где X_i — i -й элемент выборки; $\bar{X}$ — среднее арифметическое выборки

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{n} (X_1 + \dots + X_n);$$

n — объем выборки, в нашем случае равен показанию четырех датчиков.

Деформируемость D определяется по формуле как среднее значение просадки по результатам пяти опытов на каждом из моментов затяжки в отношении к приложенной вертикальной силе

$$D = \frac{\Delta_{\text{ср}}}{P},$$

где $\Delta_{\text{ср}}$ — среднее значение просадки по результатам пяти опытов на каждом из моментов затяжки; P — вертикальная сила.

Результаты расчета сведены в таблицу.

Более наглядно показатели расчета представлены на рис. 3 и 4.

Кривые соответствуют жесткости узла крепления ЖБР-65 при различных моментах затяжки болтов. Вертикальная упругая просадка рельса измеряется как средняя просадка, фиксируемая четырьмя датчиками перемещений применительно к оси поперечного сечения рельса.

Определение характеристик деформации крепления проводилось на универсальной испытательной машине при одноточечной вертикальной системе нагружения. Величины деформации снимались с помощью четырех датчиков перемещений. Данные датчиков усреднялись, и результаты определения характеристик деформаций в зависимости от приложенной вертикальной силы сводились в таблицу. Деформируемость крепления — разница между упругими осадками рельса и шпалы, измеряемыми под действием нормированной нагрузки. Шаг вертикальной нагрузки принят равным 5, 11,75, 15 т, что соответствует диапазону нагрузок 10, 23,5 и 30 т/ось при определении средней осадки рельса для нагрузочного поезда СМП-18 и максимальной просадки рельса для нагрузочного поезда СМ-460 [8]. Из таблицы видно, что в диапазоне прикладываемой вертикальной силы от 5 до 15 т основной «коридор» деформируемости при моменте затяжки закладных болтов от 0 до 250 Н·м составляет от 0,13 до 0,50 мм.

При укладке бесстыкового пути каждый узел креплений должен обеспечивать нормативное прижатие рельса к основанию не менее 20 кН, это достигается затяжкой болтов и шурупов промежуточных креплений ЖБР-65 крутящим моментом от 120 до 250 Н·м [9, с. 8]. Соответственно на графиках выявлены участки с необходимым нормативным прижатием рельса к основанию с моментом затяжки от 100 до 250 Н·м. Величина деформируемости составит от 0,13 до 0,25 мм/т, что соответствует рабочему состоянию прокладок [10, с. 120].

Проблемному состоянию соответствует величина деформируемости от 0,5 до 0,25 мм/т, находящаяся в диапазоне от 0 до 150 Н·м момента затяжки болтов;

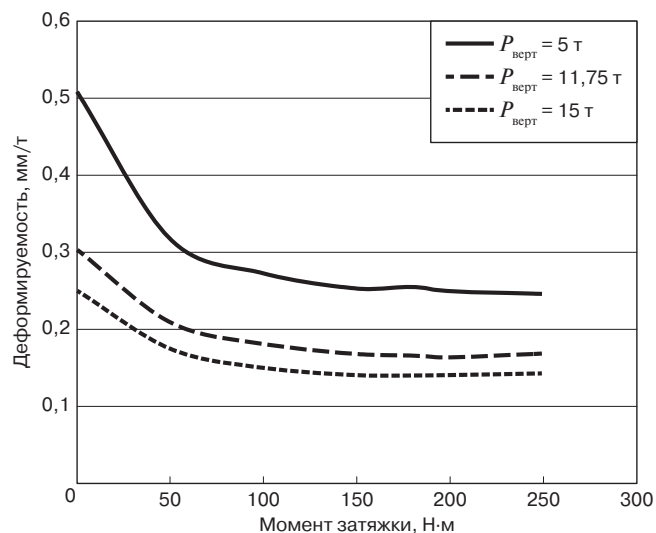


Рис. 4. Зависимость деформируемости крепления от момента затяжки болтов при трех различных значениях приложенной вертикальной нагрузки

Результаты расчета

Крутящий момент, Н·м	Вертикальная сила P , т	Статистика по серии			Деформируемость D , мм/т
		Среднее по сессии $\Delta_{\text{ср}}$, мм	СКО σ_c	Размах, %	
0	5	2,52	0,20	8,03	0,50
	11,75	3,52	0,22	6,13	0,30
	15	3,69	0,21	5,67	0,25
50	5	1,57	0,16	10,08	0,31
	11,75	2,41	0,16	6,77	0,20
	15	2,56	0,14	5,33	0,17
100	5	1,34	0,16	11,55	0,27
	11,75	2,08	0,19	9,18	0,18
	15	2,19	0,21	9,81	0,15
150	5	1,24	0,15	12,06	0,25
	11,75	1,92	0,19	9,83	0,16
	15	2,04	0,21	10,17	0,14
180	5	1,25	0,14	10,98	0,25
	11,75	1,90	0,17	8,80	0,16
	15	2,04	0,23	11,32	0,14
200	5	1,23	0,12	9,48	0,25
	11,75	1,87	0,15	8,25	0,16
	15	2,04	0,25	12,45	0,14
250	5	1,21	0,12	9,60	0,24
	11,75	1,93	0,26	13,45	0,16
	15	2,08	0,30	14,28	0,14

на этом участке будут определяться конструкции, не отвечающие требованиям нормативного прижатия рельса. Именно на этом участке можно определять дефектное состояние креплений. При соответствующем оборудовании, устанавливаемом на нагруженные поезда, с возможностью измерения осадки рельса относительно шпалы можно выявлять проблемные элементы прямо в пути с привязкой к текущему пикетажу.

Выводы. Проведенные лабораторные исследования зависимости величины деформируемости от состояния момента затяжки болтов при различных воздействиях вертикальной силы показывают возможность определения состояния креплений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карпушенко Н.И., Антонов Н.И. Совершенствование рельсовых креплений. Новосибирск, 2003. 300 с.
2. Купцов В.В. Современные конструкции и параметры промежуточных рельсовых креплений для железобетонных шпал // Повышение надежности работы верхнего строения пути в современных условиях эксплуатации: сб. науч. тр. / под ред. канд. техн. наук Л. Г. Крысанова. М.: Интекст, 2000. 142 с.
3. Купцов В.В. Методика определения жесткости резиновых прокладок-амортизаторов на сжатие // Совершенствование рельсовых креплений: сб. тр. ВНИИЖТ. Вып. 616/ под ред. В. Н. Петрова. М.: Транспорт, 1979. С. 46–50.

4. Инструкция на сборку, укладку и эксплуатацию пути с различными модификациями рельсового крепления ЖБР на железобетонных шпалах: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 23 августа 2013 г. № 1815р. 38 с.

5. Альбрехт В.Г., Коган А.Я. Бесстыковой путь. М.: Транспорт, 2000. 408 с.

6. Каменский В.Б. Направления совершенствования ведения путевого хозяйства // Повышение надежности работы верхнего строения пути в современных условиях эксплуатации: сб. науч. тр. ОАО «НИИТКД». 2009. 392 с.

7. ТУ на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути ОАО «РЖД». М., 2013. 221 с.

8. Инструкция по оценке деформативности подрельсового основания нагруженным поездом: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 15 августа 2012 г. № 1648 р. 17 с.

9. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2012 г. № 2788. 136 с.

10. Хвостик М.Ю. Модернизация рельсового крепления ЖБР-65 // Современные и перспективные конструкции железнодорожного пути для различных условий эксплуатации: сб. тр. ученых ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. А. Ю. Абдурашитова. М.: Интекст. 2013. 152 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

МАКАРОВ Алексей Владимирович, заместитель заведующего отделением «Путь и путевое хозяйство», ОАО «ВНИИЖТ». 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10. Тел.: (499) 180-24-28. E-mail: Makarov.aleksey@vniizht.ru

In-Track Assessment of Rail Fastenings Condition Depending on Their Deformability

Alexey V. Makarov, Deputy Head of Department for Track Facilities, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 1802428. E-mail: Makarov.aleksey@vniizht.ru

Abstract. Monitoring of rail fastenings technical condition is necessary while trying to mitigate vehicle — track dynamic interaction as well as to reduce bedding course disconsolidation, to identify defects in the initial stage and to ensure safety of railway track operation.

The paper tackles the in-track identification aspect of deformed and worn out fastening elements. Identification technique is based upon comparison of structural deformations in terms of track structure loaded and unloaded conditions. Based upon thus obtained data there are discussed determination aspects of the fastenings' structural strength dependence on their actual condition. Series of laboratory studies was conducted to identify fastening deformability dependence on the clip bolts torque values. Through the example of rail fastening ZhBR-65 inference should be drawn on the possibility to measure sleeper relative rail sinking for the purpose of in-track localization of the fastenings' troublemaking elements with reference to 100 meter marks.

Keywords: rail fastening deformability; deformability related dependencies; assessment of rail fastenings condition

References

1. Karpushchenko N.I., Antonov N.I. *Sovershenstvovanie rel'sovykh skrepleniy* [Improving rail fastenings]. Novosibirsk, 2003. 300 p.

2. Kuptsov V.V. *Sovremennye konstruksii i parametry pro-mezhutochnykh rel'sovykh skrepleniy dlya zhelezobetonnykh shpal* [Modern design and parameters of the intermediate rail fasteners for concrete sleepers]. *Povyshenie nadezhnosti raboty verkhnego stroeniya puti v sovremennykh usloviyakh ekspluatatsii*: sb. nauch. tr. [Improving the reliability of the track superstructure in modern operating conditions: Coll. sci. pap.]. Moscow, Intext Publ., 2000. 142 p.

3. Kuptsov V.V. *Metodika opredeleniya zhestkosti rezinovykh prokladok-amortizatorov na szhatie* [Methods of determining the stiffness of rubber gaskets-shock absorbers on compression]. *Sovershenstvovanie rel'sovykh skrepleniy*: sb. tr. VNIIZhT [Improving rail fastenings: Coll. pap. "VNIIZhT"], 1979, no. 616, pp. 46–50.

4. *Instructions for assembly, laying and operation of the track with various modifications of ZhBR-type rail fastening on concrete sleepers*. Approved by the order of JSC "Russian Railways" on August 23, 2013 № 1815 r. 38 p. (in Russ.)

5. Al'brekht V. G., Vinogorov N. P., Zverev N. B. et al. *Besстыkoy put'* [Continuous welded rail]. Moscow, Transport Publ., 2000. 408 p.

6. Kamenskiy V. B. *Napravleniya sovershenstvovaniya vedeniya putevogo khozyaystva* [Directions for improvement of track facilities management]. *Povyshenie nadezhnosti raboty verkhnego stroeniya puti v sovremennykh usloviyakh ekspluatatsii*: sb. nauch.

tr. OAO NIITKD [Improving the reliability of the track superstructure in modern operating conditions: Coll. sci. pap. of JSC "NIITKD"]. 2009. 392 p.

7. *Specifications for the reconstruction (modernization) and repair of railway track of JSC "Russian Railways"*. Moscow, 2013. 221 p. (in Russ.).

8. *Instruction on the assessment of rail base deformability by loaded train*. Approved by the order of JSC "Russian Railways" on August 15, 2012 № 1648 r. 17 p. (in Russ.).

9. *Instructions on the arrangement, installation, maintenance and repair of welded rails*. Approved by the order of JSC "Russian Railways" on December 29, 2012 № 2788. 136 p. (in Russ.).

10. Khvostik M. Yu. *Modernizatsiya rel'sovogo skrepleniya ZhBR-65* [Upgrading rail fastening ZhBR-65]. *Sovremennye i perspektivnye konstruktivnye zheleznodorozhnogo puti dlya razlichnykh usloviy ekspluatatsii*: sb. tr. uchenykh OAO "VNIIZhT" [Modern and perspective design of railway track for different operating conditions: Coll. pap. of JSC "VNIIZhT" scientists]. Moscow, Intext Publ., 2013. 152 p.

УДК 004.896:656.222.4

Канд. физ.-мат. наук В. Ю. КИРЯКИН, инж. А. В. НОВГОРОДЦЕВА

Обеспечение учета дробной нумерации грузовых поездов при автоматизированном построении графика движения поездов с помощью аппаратно-программного комплекса ЭЛЬБРУС

Аннотация. Специалистами ОАО «ВНИИЖТ» ведется внедрение аппаратно-программного комплекса (АПК) ЭЛЬБРУС для автоматизированного построения актуализированных графиков движения поездов на полигонах железных дорог.

При разработке нормативного графика движения поездов заранее однозначно не определяются номера поездов, которые будут следовать по расписаниям этого графика. Для обеспечения возможностей следования поездов разных категорий по одним и тем же ниткам графика им присваивается несколько номеров, один из которых является основным, а остальные — дробными. Одним из значимых модулей математической модели АПК ЭЛЬБРУС является модуль учета дробной нумерации в графике движения поездов. В статье подробно рассматриваются основные принципы построения алгоритмов работы этого модуля в математической модели АПК ЭЛЬБРУС.

Ключевые слова: дробная нумерация; график движения поездов; автоматизированная система; имитационное моделирование; аппаратно-программный комплекс ЭЛЬБРУС; ОАО «ВНИИЖТ»

Расписание движения грузовых поездов определяется нормативным графиком движения поездов (НГДП), который ежегодно разрабатывается технологиями отделов графиков региональных дирекций управления движением [1, 2]. Для повышения качества планирования поездной работы необходимо проводить актуализацию нормативных графиков движения поездов. Основной причиной необходимости актуализации нормативных графиков является корректировка его с учетом планируемых окон для проведения летних путевых работ [3] и изменений календаря движения пассажирских и пригородных поездов. Актуализация нормативных графиков на железных дорогах

под изменяющиеся условия пропуска поездов производится ежесуточно по мере поступления информации о планируемых окнах, ограничениях на пропуск поездопотока и других условиях.

Актуализация графиков движения поездов (ГДП) с учетом оперативных ограничений скорости проводится при построении плана пропуска на участке. Ежесуточное построение актуализированного нормативного графика движения поездов вручную является сложной и трудоемкой задачей, поэтому важным является автоматизация этого процесса.

В течение четырех лет специалисты ОАО «ВНИИЖТ» внедряют систему имитационного моделирования аппаратно-программного комплекса (АПК) ЭЛЬБРУС для автоматизированного построения ГДП на полигонах железных дорог [4, 5, 6]. Алгоритмы работы системы позволяют учитывать важные особенности технологии построения графиков на различных полигонах железных дорог и обеспечивать выполнение основных требований, предъявляемых к графику движения поездов. Одним из значимых модулей математической модели АПК ЭЛЬБРУС, разработанным при решении задачи автоматизации построения графиков движения поездов, является модуль учета дробной нумерации в графике движения поездов.

Дробные нитки ГДП в математической модели АПК ЭЛЬБРУС. При следовании поезда по расписанию его номер соответствует номеру нитки графика, по которой он осуществляет движение. Нормативный график движения поездов разрабатывается дважды в год, и при этом заранее однозначно не определяются