

**Ростовский государственный
университет путей сообщения**

филиал РГУПС в г. Воронеж

**ТРУДЫ 78-й СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ РГУПС (ЧАСТЬ 5)**

**Секция «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»
Секция «Теоретическая механика, детали машин и
конструирование»**

(Воронеж, 19 апреля 2019г.)



Воронеж – 2019

Редакционная коллегия:

Лукин О.А. – к.ф.-м.н., доцент

Жиляков Д.Г. – к.ф.-м.н., доцент

Тимофеев А.И. – к.э.н., доцент

Никитин С.А. – к.т.н., доцент

Соломонов К.Н. – д.т.н., профессор

Тищук Л.И. – к.т.н., доцент

Труды 78-й студенческой научно-практической конференции РГУПС (часть 5)

Секция «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»

Секция «Теоретическая механика, детали машин и конструирование»

(Воронеж, 19 апреля 2019г.) – Воронеж: филиал РГУПС в г. Воронеж, 2018. – 62с.

Статьи публикуются в редакции авторов (с корректировкой и правкой). Мнения и позиции авторов не обязательно совпадают с мнениями и позициями редакционной коллегии

© Филиал РГУПС в г. Воронеж
© Кафедра социально-гуманитарные,
естественно-научные и
общепрофессиональные дисциплины

СОДЕРЖАНИЕ

Секция «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»	5
Устойчивость бесстыкового пути и нормы его содержания <i>Антонов М.В.</i>	5
Очистка стрелочных переводов в зимних условиях <i>Дудченко В.А.</i>	14
Безбалластные системы верхнего строения пути <i>Измалков А.В.</i>	21
Методы диагностики балластного слоя <i>Яловенко С.В.</i>	26
Секция «Теоретическая механика, детали машин и конструирование»	41
Движение материальной точки по подвижной поверхности <i>Макогонов А.А.</i> ,	41
Моделирование эпюры давлений при исследовании закономерностей формообразования деталей подвижного состава для образца сложной формы <i>Зотов А.И.</i>	42
Исследование закономерностей формообразования плоских заготовок при производстве деталей подвижного состава <i>Кротов А.В.</i>	44
Построение эпюры контактных давлений и изучение закономерностей формообразования при производстве деталей подвижного состава <i>Грачева В.Н.</i>	46
Моделирование эпюры контактных давлений при производстве деталей транспортного машиностроения <i>Соловьева Т.В.</i>	49
Моделирование эпюры давлений и исследование формообразования деталей подвижного состава, имеющих плоскостные участки <i>Иванов А.О.</i>	51
Моделирование картины течения металла при исследовании закономерностей формообразования деталей подвижного состава <i>Анурова Е.П.</i>	53
Исследование закономерностей формообразования деталей подвижного состава и моделирование картины течения металла образца сложной формы <i>Ижокин Д.Г.</i>	55
Исследование закономерностей течения металла при изготовлении деталей транспортного машиностроения <i>Костюченко Д.В.</i>	57

Исследование влияния конструктивных элементов на изменение картины течения металла при изготовлении деталей подвижного состава <i>Пивоваров В.М.</i>	59
Исследование формоизменения плоских заготовок при производстве деталей подвижного состава железнодорожного транспорта <i>Косоногов Д.А.</i>	61

Секция «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»

УДК 528.48:69

Устойчивость бесстыкового пути и нормы его содержания

Антонов М.В.

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы устойчивости бесстыкового пути, а также нормы по его содержанию, основанные на практическом опыте эксплуатации.

Ключевые слова: бесстыковой путь, разрядка плетей, температурные напряжения.

Бесстыковой путь — железнодорожный путь, содержащий сварные рельсовые плети, длина которых настолько велика, что температурные силы, возникающие в них при максимальных колебаниях температуры за год, не в состоянии преодолеть силы сопротивления сдвигу по всей длине плетей.

Начиная с 1960-х годов бесстыковой путь широко применяется как типовая конструкция на железных дорогах большинства развитых стран.

В России бесстыковой путь впервые был предложен в 1930 году инженерами М. С. Боченковым и К. Н. Мищенко.

Протяжённость бесстыкового пути на отечественных железных дорогах в начале 1980-х годов превысила 50 тысяч км (26 % длины сети).

Число рельсовых стыков (самых слабых и напряжённых мест пути) в бесстыковом пути минимально. В бесстыковом пути сопротивления сдвигу преодолеваются в стыках и на двух концевых участках, называемых температурно-подвижными (по 50—70 м), а средняя основная часть бесстыкового пути остаётся неподвижной. Такая конструкция бесстыкового пути (температурно-напряжённого типа) общепринята (различия заключаются лишь в длине плетей и способах их стыкования). Бесстыковой путь отечественных железных дорог представляет собой конструкцию со сварными рельсовыми плетями длиной 150—950 м, которые чередуются с участками уравнильных пролётов, состоящих из 2—4 пар рельсов длиной по 12,5 м.

По сравнению с конструкциями пути с короткими рельсами бесстыковой путь обладает рядом преимуществ:

снижается удельное сопротивление движению поездов (до 15 %) и соответственно расходы электроэнергии и топлива на тягу поездов;

сокращаются объёмы работ по выправке пути (до 25 %);

продлеваются сроки службы элементов верхнего строения пути (до 25 %);

сокращается расход металла на стыковые рельсовые скрепления (до 9 т на 1 км);

повышается комфортабельность езды пассажиров;

увеличивается надёжность работы рельсовых цепей автоблокировки;

снижается уровень шума (на 5—15 дБ).

Бесстыковой путь отличается от звеньевом наличием в рельсах периодически изменяющихся продольных температурных сил, достигающих 1200—1400 кН в каждом рельсе. Одно из главных требований при устройстве бесстыкового пути — обеспечение его устойчивости против выброса при повышении температуры (см. Устойчивость пути).

Применение бесстыкового пути преимущественно с железобетонными шпалами особенно эффективно на линиях с высокими скоростями движения поездов. Ограничена укладка бесстыкового пути на кривые радиусом менее 350 м, а также на линиях с высокой густотой движения — грузонапряжённость более 80 млн.т·км (брутто)/(км·ч).

Обеспечение устойчивости - одна из основных проблем устройства и содержания бесстыкового пути. Обычно рассматривают несколько причин, влияющих на возникновение предельного состояния бесстыкового пути по устойчивости при движении поездов. Первая причина заключается в том, что перед движущимся колесом возникает зона, где рельс несколько приподнимается по сравнению со своим исходным положением. В этой зоне отрицательного прогиба максимальный подъем рельса составляет всего 4 % от прогиба под колесом. Однако и при таком небольшом его поднятии уменьшаются силы сцепления шпал со щебеночным основанием и сопротивление пути перемещению.

Вторая причина - изменяется устойчивость пути при его вибрации позади и впереди движущегося поезда.

Третья причина - происходит утон пути. При наличии надежной упругой связи рельсовых плетей с основанием эти силы относительно невелики. Однако если на длине плети имеются участки, где плохо закреплены клеммы промежуточных скреплений, при проходе поезда по ним возникают местные подвижки плети с образованием на их концах значительных по величине дополнительных сил сжатия или растяжения. Складываясь с температурными продольными силами, они могут вызвать нарушение устойчивости путевой решетки. Потеря устойчивости путевой решетки бесстыкового пути может произойти как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях [1].

Критическую продольную сжимающую силу, которая вызывает потерю устойчивости путевой решетки, стремились определить как теоретически, так и экспериментально. Известны различные теоретические подходы к определению критической силы, разработанные в России К.Н. Мищенко, С.П. Першиным, С.И. Морозовым, А.Я. Коганом и другими учеными. В последние годы М.Ф. Вериго предложен метод имитационного моделирования устойчивости бесстыкового пути. А.Я. Коганом разработана методика расчета устойчивости бесстыкового пути, учитывающая взаимосвязь критической сжимающей силы в рельсовых плетях с размерами неровностей в прямых и кривых участках пути. Экспериментальные исследования включают в себя как определение отдельных характеристик сопротивляемости бесстыкового пути и отдельных его элементов выбросу (силы сопротивления шпал перемещениям и промежуточных скреплений повороту рельса, моменты инерции путевых решеток и др.), так и создание специальных участков пути - стендов, на

которых воссоздаются условия и изучаются процессы, сопровождающие процесс потери устойчивости бесстыкового пути [2,3].

Важнейшее значение имели результаты экспериментальных исследований, проведенных в 60-х г.г. прошлого века под руководством Е.М. Бромберга на опытном стенде ВНИИЖТа. Наблюдения за искривлениями путевой решетки на стенде при нагревании рельсов позволили выяснить, как протекает процесс потери устойчивости. Было установлено, что при существующих соотношениях жесткости пути в горизонтальной и вертикальной плоскостях процесс потери устойчивости происходит только в горизонтальной плоскости.

До некоторого значения температуры t_k продольная сжимающая сила возрастает до величины N_k , причем поперечные перемещения путевой решетки при этом не происходят. При дальнейшем повышении температуры появляются нелинейно изменяющиеся такие перемещения путевой решетки, растущие сначала медленно, а затем при достижении некоторой температуры t_{zk} - весьма быстро. На конечной стадии перемещения приобретают динамический характер, и происходит выброс пути.

Если нагревание рельсовых плетей прекращалось в интервале температур рельсов от t_k до t_{zk} и в дальнейшем они остывали, то путь оставался деформированным. При повторном нагревании уже искривленного пути выброс происходил, когда значения температур были уже меньше.

Е.М. Бромберг предложил конструкцию и интервалы закрепления рельсовых плетей бесстыкового пути выбирать таким образом, чтобы предотвратить наступление первого критического состояния - начала подвижек путевой решетки [4].

Наблюдения показали, что при потере устойчивости бесстыкового пути в кривых участках выброс происходит всегда наружу кривой. Сначала возникает поперечная сдвижка путевой решетки на небольших по длине участках (8-12 м). Непосредственно перед выбросом наружная рельсовая плеть в кривой при щебеночном балласте в плане имеет отклонения от первоначального положения, равные 15-25 мм, а при асбестовом балласте - всего 5-6 мм.

Допустимое по условиям обеспечения устойчивости бесстыкового пути повышение температур рельсов было определено в ходе экспериментальных и теоретических исследований, на основании которых в Приложении к «Техническим указаниям по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути» даны значения величин Δt_y для вновь уложенных или переложённых повторно с переборкой путевой решетки рельсовых плетей при различных конструкциях верхнего строения пути. Приведем значения допустимого повышения температур рельсовых плетей бесстыкового пути с балластным слоем из щебня скальных пород (таблица 1).

Устойчивость пути — способность железнодорожного пути сопротивляться нарушению равновесия при действии на него внешних и внутренних сил. Основными формами потери устойчивости железнодорожного пути являются:

выброс пути;

поперечный сдвиг рельсо-шпальной решётки под действием поперечных сил, развиваемых при движении экипажей;
различные виды потери устойчивости откосов земляного полотна.

Таблица 1 - Допустимое повышение температур рельсовых плетей бесстыкового пути с балластным слоем из щебня скальных пород

Тип рельсов	Эпюра шпал, шт./км	Допустимое повышение температур рельсов, 0С							
		в прямом участке, м	в кривых радиусом, м						
			2000	1200	1000	800	600	500	350
Р65	2000	58	53	51	49	47	43	41	35
	1840	54	50	47	46	44	41	39	33
	1600	47	43	41	40	38	36	33	-

Выброс пути представляет собой деформацию продольного изгиба рельсошпальной решётки (горизонтальное остаточное поперечное смещение в её балластном слое), вызванную действием в этих рельсах внутренних напряжений сжатия от продольных сил. Последние могут возникнуть при повышении температуры рельсов или при уgone пути в условиях, когда удлинения рельсов невозможны или возникают большие силы сопротивления этим перемещениям (отсутствие зазоров в стыках, действие сил трения рельса в скреплениях и т. п.).

Зависимость смещения рельсо-шпальной решётки от продольной силы

Выброс пути протекает следующим образом. При увеличении продольных сил в рельсах до некоторого значения N_1 поперечные смещения рельсов не возникают. При $N > N_1$ они появляются и затем прогрессивно возрастают; при $N = N_3$ мгновенно (в доли секунды) происходит поперечное смещение (выброс) рельсо-шпальной решётки на расстояние до 40 см. Силу N_3 называют критической силой. Значение N_k , при котором средние поперечные смещения достигают $f_k = 0,2—0,4$ мм, называют критической силой. Значения N_k и N_3 зависят от размеров площади поперечного сечения и изгибной жёсткости рельсов, материала шпал и балласта, степени уплотнения балластного слоя, эпюры шпал (шт./км), кривизны пути и размеров неровностей пути в плане. С увеличением кривизны пути и размеров неровностей значения N_k уменьшаются, а с увеличением остальных параметров возрастают. Значение N_3 определяют различными расчётными методами; уточняют N_k и N_3 в результате опытов. Значение N_k (суммарное по обоим рельсам) в зависимости от указанных выше параметров пути и его состояния равно $0,5—2,5$ МН.

Потеря устойчивости пути (значительный поперечный сдвиг) от воздействия на него рамной силы U_p под каким-либо колесом движущегося экипажа возникает тогда, когда $U_p > R$, где R — продольная сила сопротивления поперечному перемещению шпалы в балласте под этим же колесом экипажа. Сила R в основном определяется трением шпалы по балласту, поэтому она

пропорциональна статической нагрузке Q от оси экипажа на рельсы. В качестве критерия устойчивости в этом случае принимают соотношение $\alpha = U_p/Q$.

Опытами установлено и на отечественных железных дорогах принято, что устойчивость пути со щебёночной балластной призмой обеспечена, если соблюдено условие $\alpha \leq 0,4$, а с песчаной призмой $\alpha \leq 0,3$.

На зарубежных железных дорогах в большинстве случаев приняты значения α , меньшие указанных.

Нормы и содержание бесстыкового пути. Содержание бесстыкового пути сводится к предупреждению возникновения в рельсовых плетях дополнительных (сверх расчетных) продольных сил и обеспечению достаточной его устойчивости при производстве работ во избежание выброса пути при высоких температурах и разрыва плетей при низких температурах.

Работы текущего содержания, связанные с ослаблением сопротивления бесстыкового пути боковым и вертикальным перемещениям или с уменьшением жесткости путевой решетки, запрещается производить, если температура рельсов превышает на прямых участках температуру закрепления плетей на $15\text{ }^\circ\text{C}$, а в кривых радиусом 800 м и менее – на $10\text{ }^\circ\text{C}$.

В процессе эксплуатации бесстыкового пути температура закрепления рельсовых плетей изменяется, и возникает необходимость проверять фактическую температуру их закрепления. Эту температуру можно найти по действующему погонному сопротивлению подрельсового основания продольному перемещению рельсовой плети и по перемещению концов рельсовых плетей в течение суток в связи с изменением температуры рельсов.

При изломах рельсовой плети дефектное место вырезают и временно укладывают короткий рельс (длиной $8\text{--}11\text{ м}$), который соединяют с концами плети шестидырными накладками. Окончательно восстанавливают плеть свариванием в нее электроконтактным способом рельса, при этом концы плетей с болтовыми отверстиями отпиливают. Сварка производится в установленном температурном интервале закрепления плетей.

При поперечной трещине, вышедшей на поверхность рельса, или сквозном поперечном изломе с зазором менее 25 мм для кратковременного пропуска поездов допускается соединить концы плети в месте повреждения накладками, сжатыми струбцинами.

Содержание стрелочных переводов, пути на искусственных сооружениях и на участках с автоблокировкой и электрической тягой. Наличие в стрелочных переводах подвижных частей, кривых малых радиусов и ярко выраженных геометрических неровностей обуславливает более жесткие требования к их содержанию, чем к содержанию пути на перегоне.

В Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути, утвержденной МПС РФ в 2000 г. (ЦП-774) отмечены особенности содержания бесстыкового пути. В ЦП-774 указано, что держанию бесстыкового пути предъявляются специальные требования по сравнению со звеньевым путем, связанные со значительными продольными температурными силами, появляющимися в рельсовых плетях при больших изменениях температуры рельсов по сравнению с температурой их закрепления.

В летнее время при минимальной температуре закрепления 20 °С (в ТУ-2000 для северных районов России — это еще оптимальная температура) продольная сжимающая сила в двух рельсах бесстыкового пути, если их температура достигает 60 °С, равна 1600 кН. В южных районах России при минимальной температуре закрепления 30 °С (оптимальная равна 35 ±5 °С) разница в летнюю жару не может быть более 35 °С. Однако не следует считать, что в северных районах из-за этого путь во время эксплуатации будет более устойчивым, так как имеет значение еще и длительность действия максимальных сжимающих продольных сил. Длительность действия сжимающих сил для обеспечения устойчивости должна составлять на бесстыковом пути не более 1/10 от длительности действия растягивающих сил. Обеспечение такого условия необходимо для того, чтобы не произошел выброс, так как для нормального, и даже минимального, удовлетворительного состояния пути запас устойчивости достаточно велик. Соблюдение пропорции 1/10 необходимо для обеспечения возможностей своевременного производства ремонтных работ, включая текущее содержание пути, без необходимости предварительного перезакрепления рельсовых плетей на более высокую температуру.

В зимнее время возникают растягивающие силы, которые в случаях максимальных похолоданий в северных районах могут достигнуть 3600 кН в двух рельсовых плетях и 1800 кН — в одной плети. Максимальные растягивающие силы могут возникнуть, если температура закрепления 30 °С, а температура рельсов -60 °С (такие морозы и такая температура закрепления весьма редки, но не исключены). При низких температурах наибольшую опасность для движения поездов представляют стыки на концах рельсовых плетей.

За время длительного сохранения в рельсах всего лишь нулевой температуры зазоры в стыках раскрываются до размеров, превышающих 21 мм. В таких случаях стыковые болты начинают работать на изгиб и срез. При наступлении отрицательных температур срез болтов становится реальным и тогда приходится менять уравнительный рельс на удлиненный. Затем в таких уравнительных пролетах весной необходимо срочно вновь заменять удлиненный рельс на нормальной или укороченный. Чтобы свести к минимуму работы по регулировке зазоров на концевых участках бесстыкового пути, необходимо во время укладки рельсовых плетей и при их перезакреплении концевые участки закреплять при минимальной температуре в пределах оптимального интервала. Установление нулевых зазоров и подкрепление болтов промежуточных скреплений производится в конце лета — начале осени (пока зазоры нулевые, или близкие к ним).

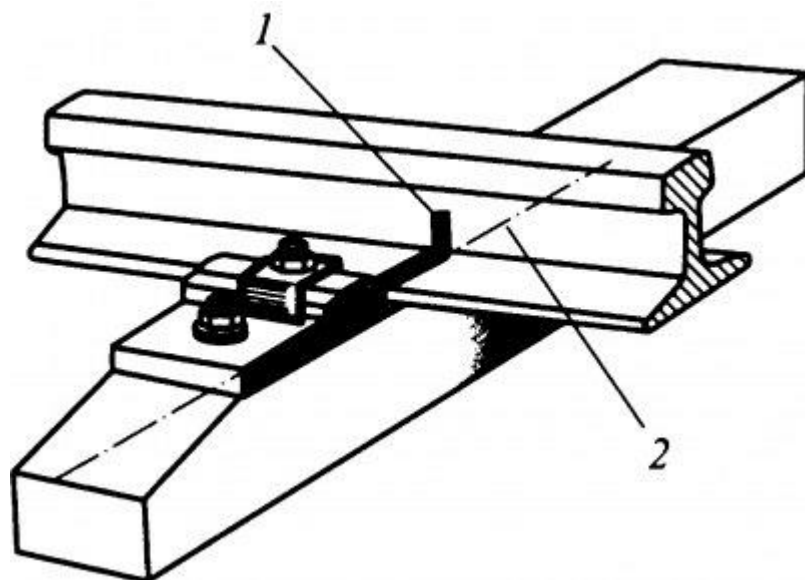


Рисунок. «Маячная» шпала для контроля смещения рельсовой плети:
1 — риска; 2 — линия совмещения риски с кромкой подкладки

При текущем содержании бесстыкового пути первоочередной работой бригад монтеров пути является своевременное подкрепление болтов промежуточных скреплений, что необходимо для обеспечения нормального прикрепления рельсовых плетей на шпалах. Если эта работа выполняется, то угона рельсовых плетей можно не ожидать. И, наоборот, если содержанию болтов промежуточных скреплений не уделено должного и своевременного внимания, то может начаться угон рельсовых плетей. Угон — самая опасная деформация железнодорожного пути, которая влечет за собой другие деформации, быстро разрушающие верхнее строение пути, приводя его в аварийное состояние. Угон несоизмеримо легче предотвратить, чем при его возникновении бороться с его последствиями. Контроль за стабильностью положений рельсовых плетей в осевом направлении проводят по «маячным» шпалам, служащих временными реперами, относительно которых можно заметить перемещение отметки на рельсе вдоль оси пути. «Маячная» шпала (рис. 8.13) должна достаточно плотно лежать в балласте; на шпале или на подкладке, хорошо закрепленной на ней, должна быть видна постоянная точка, относительно которой смещение риски на подошве рельса можно измерить с точностью до 1 мм. Для быстрого нахождения «маячных» шпал их поверхность окрашивают несмываемой краской. Против постоянной точки на шпале на подошве рельса несмываемой краской наносится метка, по которой острым предметом прочерчивается тонкая риска. Контроль за положением рельса относительно «маячных» шпал осуществляется ежемесячно.

Работы по текущему содержанию нельзя ставить в зависимость от величины смещения контрольных сечений на рельсе относительно «маячных» шпал. Прежде всего необходимо осуществлять контроль за состоянием натяжения болтов промежуточного скрепления — степенью прижатия рельса к шпале. Если произошло смещение рисок на величину до 5 мм, то это

свидетельствует о серьезных упущениях в содержании скреплений и о неудовлетворительном состоянии пути. В соответствии с ТУ-2000 и ЦП-774 меры по закреплению болтов после обнаружения смещений до 10 мм и по регулировке продольной силы в рельсах при смещениях более 10 мм следует считать запоздалыми. При этих смещениях назначается вынужденная мера — ограничение скорости до 40 км/ч, имеющая цель предотвратить тяжелые последствия, связанные с возможной потерей устойчивости рельсошпальной решетки.

Изменение температуры закрепления нужно считать приближенным с возможной ошибкой до 10—15 °С. Ошибка обусловлена тем, что величина продольной силы на 100-метровом участке берется осредненной; возможны ошибки при линейных и температурных измерениях, так как «маячная» шпала является далеко не совершенным репером. Другого метода ориентировочного определения фактических изменений продольных сил в рельсовой плети, пригодного для практического использования, пока нет.

В связи с тем, что далеко не всегда есть уверенность в удовлетворительной точности, отмеченной в «Журнале учета» или в паспорт-карте температуры закрепления при любых работах текущего содержания, ослабляющих связь рельсошпальной решетки с балластом, место работ всегда следует ограждать, как минимум, сигналами «остановка» у красного, выдавая машинистам соответствующие предупреждения.

Руководители путевых работ на бесстыковом пути должны иметь средства для измерения температуры рельсов, а также пользоваться ежесуточными и длительными прогнозами температуры рельсов, чтобы правильно планировать время и способы производства работ. Руководители работ должны иметь при себе выписку о величине температуры закрепления рельсовых плетей на участке работ и руководствоваться таблицами 4.1 и 4.4 ТУ-2000, регламентирующими допускаемые во время работы отступления от температуры закрепления.

Путевые ремонтные работы, связанные с временным ослаблением устойчивости рельсошпальной решетки против выброса, разрешается производить, если отклонения температуры рельсовых плетей от температуры их закрепления в течение всего периода не превышает значений указанных в ТУ-2000.

При температурах рельсовых плетей, превышающих температуру их закрепления более, чем указано в табл. 8.45, не допускается производить работы, связанные с ослаблением сопротивления бесстыкового пути боковому и вертикальному перемещению. Выполнение таких работ в летний период времени следует планировать на ранние утренние или поздние вечерние часы, руководствуясь прогнозами геофизических станций. В исключительных случаях, если необходимо производить неотложные работы, связанные с безопасностью движения поездов, при отклонениях температуры рельсовых плетей превышающих значения, приведенные в табл. 8.45 (в ТУ-2000 табл. 4.1), то до их начала нужно перезакрепить рельсовые плети на более высокую температуру.

Исправлять просадки, толчки и перекосы укладкой или заменой прокладок толщиной до 10 мм между подошвой рельса и подкладками разрешается, если превышение температуры рельсовых плетей менее 15 °С температуры их закрепления. Клеммные болты при этом ослабляют одновременно не более чем на семи шпалах подряд, а клеммы не снимают. Одиночную смену подкладок, прокладок, клеммных и закладных болтов, пружинных шайб, клемм при температуре плетей, превышающей температуру их закрепления на 15 °С и больше, можно выполнять одновременно не чаще чем через 10 шпал.

Во избежание изменения установленных зазоров разбирать и ослаблять стыки на концах рельсовых плетей, а также между уравнительными рельсами при температурах, отличающихся от температуры закрепления плетей более чем ± 5 °С, не рекомендуется. В случае особой необходимости разрешается разбирать стыки при температурах, отличающихся от температуры закрепления рельсовых плетей не более чем на 20 °С; при этом зазор может измениться примерно на 1 см. Для восстановления нормального зазора с наступлением температур, близких к температуре закрепления рельсовой плети, конец ее на протяжении 40—50 м должен быть освобожден от закрепления и после свободного изменения длины участка плети, вывешенного на ролики или пластины, вновь закреплен. При отсутствии зазоров зажатый уравнительный рельс удаляют после вырезки из него куска газовой резкой при закрепленных болтах промежуточного скрепления.

Поскольку при применении машин тяжелого типа бесстыковой путь подвергается силовым воздействиям, передаваемым на рельсы их рабочими органами, а связь рельсошпальной решетки с балластом уменьшается, не следует выполнять работы при температурах отличающихся от температуры закрепления на величину более допускаемой в ТУ-2000. Если фактическое отступление от температуры закрепления выходит за допустимые пределы, то это значит, что при планировании работ была допущена ошибка и от выполнения этого вида ремонта следует отказаться. При температуре рельсов более, чем на 30 °С выше и на 60 °С ниже температуры закрепления требуется усиление контроля за состоянием бесстыкового пути. Это требование не следует считать недостатком бесстыкового пути. На звеньевом пути также следует усиливать контроль при экстремальных и близких к ним температурах. На звеньевом пути более вероятны появления различных неисправностей, связанных с температурными продольными силами в рельсах. В связи с этим в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока применение бесстыкового пути предпочтительнее звеньевому. Чтобы не иметь при экстремальных температурах во время текущего содержания описанных проблем на концевых участках рельсовых плетей, нужно применять бесстыковой путь со сверхдлинными рельсовыми плетями протяженностью минимум до перегона.

Список литературы:

1. Концепция единой технической политики холдинга «Российские железные дороги», утверждена Президентом ОАО «РЖД» В.И.Якуниным 12.07.2009 г.
2. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 18.01.2013 г. нр 75р.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утверждены приказом Минтранса России от 21.12.2010 г. нр 286.
4. Строительные нормы и правила Российской Федерации железные дороги колеи 1520мм СНиП 32-01-95. Минстрой России. 1995г.
5. Инструкция по обеспечению безопасности движения поездов при производстве путевых работ. Утверждена ОАО «РЖД» 29.12.2012 г.
6. Инструкция устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути . Утверждена ОАО «РЖД» 29.12.2012 г. нр 2798.
7. Сборник технологических процессов на работы в путевом хозяйстве, ЦПТ-38/68 от 27.12.2008г.
8. Технические условия «Рельсы железнодорожные новые сварные» ТУ-0921-077-01124328-98.
9. Бесстыковой путь / В.А. Альбрехт, Н.П. Виноградов, Н.Б. Зверев и др.; Под ред. В.А. Альбрехта, А.Я. Когана. – М.: Транспорт, 2000. - 408с.
10. Атапин В.В. Методика оценки условий и резерва поперечной устойчивости в кривых участках бесстыкового пути при отступлениях от норм содержания в плане // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. - №1. С. 47-52.

УДК 528.48:69

Очистка стрелочных переводов в зимних условиях

Дудченко В.А.

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы, связанные с очисткой стрелочных переводов в зимних условиях. Рассмотрены основные методы очистки, их преимущества, недостатки и условия применения.

Ключевые слова: стрелочные переводы, обдув, нагрев.

На работу железнодорожного транспорта, который обоснованно считают всепогодным, не влияют многие неблагоприятные погодные условия. Несмотря на это, снежные заносы и сугробы - серьезная угроза для железнодорожного транспорта.

Сильные снегопады и создаваемые ими снежные заносы представляют проблему для движения подвижного состава. Снег, попадая на железнодорожную колею, создает дополнительное сопротивление движению, увеличивает расход энергии, способствует снижению скоростей движения.

Так, на заре становления железнодорожного транспорта, когда методика снегоборьбы еще не была выработана, снежная стихия могла парализовать работу отдельных участков железной дороги на продолжительное время.

В настоящее время арсенал способов борьбы со снегом значительно расширился: это и защита от снежных заносов с помощью долговременных лесонасаждений и специальных сборных решетчатых щитов и заборов, электрообогрев и пневмообдувка стрелочных переводов, обработка противообледенительными и антигололедными химикатами металлических частей верхнего строения пути.

Разрабатываются и внедряются в применение различные современные снегоочистительные самоходные машины как на автомобильном комбинированном, так и на железнодорожном ходу. Особое внимание следует уделить вопросам, связанным с защитой от снега стрелочных переводов.

Для нормальной работы стрелочного перевода в зимний период необходимым условием является отсутствие напрессовки льда и снега в зонах работы подвижных частей стрелочного перевода: между острым и рамным рельсом, в шпальных ящиках под рабочими тягами приводов и внешними замыкателями, на крестовинах с подвижным сердечником.

При выполнении работ по сколке льда на стрелочных переводах и в местах препятствий необходимо соблюдать меры предосторожности, исключающие возможность перекрытия сигналов.

На стрелочных переводах для сколки льда может быть применен ручной, а также ударный пневматический или электрический инструмент.

Одно из условий безотказной работы стрелочного перевода в зимний период - отсутствие скоплений наледи и снега в зонах работы подвижных узлов и деталей: между острым и рамным рельсом, в шпальных ящиках под рабочими тягами приводов и внешними замыкателями, на крестовинах с подвижным сердечником.

Стрелочное хозяйство железных дорог России насчитывает около 300 тысяч стрелочных переводов. Климат России таков, что на протяжении значительной части года на земляном полотне станций и промышленных предприятий лежит снежный покров. Есть регионы, где время, в течение которого земля покрыта снегом, превышает 8 месяцев, поэтому проблема повышения надежности работы стрелочных переводов в зимний период весьма актуальна. Работа стрелок существенно осложняется в зимний период, когда во время снегопадов и метелей снег препятствует нормальной работе стрелочных переводов.

Для обеспечения надёжной работы стрелочных переводов в зимнее время от негативных воздействий снега и льда используются различные способы и системы. К таким системам и способам относятся тепловой обогрев: электрический, газовый, геотермальный, индукционный; пневмоочистка: удаление снега за счёт использования пневмоочистительных снегоуборочных машин, автоматическая пневмообдувка и шланговая обдувка, а также уборка снега ручными средствами.

Наиболее распространены пневматические устройства.

Устройства пневматической очистки стрелочных переводов подразделяются на стационарные устройства пневмоочистки стрелок от снега и устройства ручной шланговой пневмообдувки. На рисунке 1 показана схема автоматической обдувки стрелки.



Рисунок 1. Стационарные устройства пневмоочистки стрелок от снега и устройства ручной шланговой пневмообдувки.

Электрические стрелочные обогреватели предназначены для очистки от снега и льда стрелок, оборудованных электрической централизацией.

Для газообогрева стрелочных переводов применяются факельно-камерные обогреватели и беспламенные горелки инфракрасного излучения. На стрелочный перевод передается только нагретый воздух.

Факельно-камерный обогреватель состоит из обогревательной камеры и инжекционной горелки. Нагрев элементов стрелочного перевода происходит за счёт теплопроводности экрана, теплового излучения боковых поверхностей экрана и теплоты продуктов сгорания. Выход продуктов сгорания осуществляется через щели в пространстве между рамным рельсом и острием в направлении стрелочных башмаков. Установка горелок внутри обогревательных камер исключает возможность воспламенения горючих продуктов, попадающих на путь с поездов.

Управление газообогрева стрелок дистанционное с автоматическим розжигом горелок и контролем за их работой. Недостатками газообогрева являются: трудности эксплуатации при сильных заносах, достоинства - устройства газообогрева не мешают работе снегоочистительных машин. При модернизации системы газообогрева с применением для розжига солнечной батареи, система может применяться в автономном режиме.



Рисунок 2. Система газообогрева на стрелочном переводе.

Система геотермического обогрева стрелочных переводов. Это инновационная система обогрева стрелочных переводов, использующая геотермическую технологию на базе тепловых насосов в совокупности с новейшими устройствами управления. Она обеспечивает снижение энергозатрат на 60% по сравнению с классическими системами обогрева.



Рисунок 3. Система геотермического обогрева стрелочного перевода

Управление системой осуществлялось с помощью метеостанции с набором сенсоров в сочетании с температурными датчиками, установленными на рельсах. В случае снегопада геотермическая система также обеспечивает высокую эксплуатационную готовность стрелочных переводов, достигающую 99,9 %. Систему геотермального обогрева эффективно применять на больших группах стрелочных переводов. К одной геотермической системе обогрева

можно подключать до восьми стрелочных переводов, расположенных в радиусе до 250 м.

Систему автоматической пневмообдувки стрелочных переводов рекомендуется применять на путях станций, где нет достаточной электрической мощности для использования систем электрообогрева стрелочных переводов или на путях, где затруднено обслуживание электрообогрева стрелочных переводов.

Систему шланговой пневмообдувки стрелочных переводов рекомендуется использовать в качестве дополнительной системы к системам электрообогрева и автоматической пневмообдувки стрелочных переводов, для очистки зоны крестовин и соединительной части стрелочных переводов. Рекомендуется так же использовать в качестве резерва при обильных снегопадах. Систему электрообогрева стрелочных переводов рекомендуется использовать на путях всех категорий, где имеются достаточные электрические мощности для ее установки. Систему газообогрева стрелочных переводов рекомендуется использовать на путях, где не хватает электрических мощностей для обогрева стрелочных переводов. При использовании поджига от солнечной батареи, система газообогрева может применяться в автономном режиме на станциях, где полностью отсутствуют возможности применения других систем.

Систему геотермального обогрева стрелочных переводов рекомендуется использовать на большой группе стрелочных переводов. В этом случае стоимость жизненного цикла становится соизмерима со стоимостью системы электрообогрева стрелочных переводов.

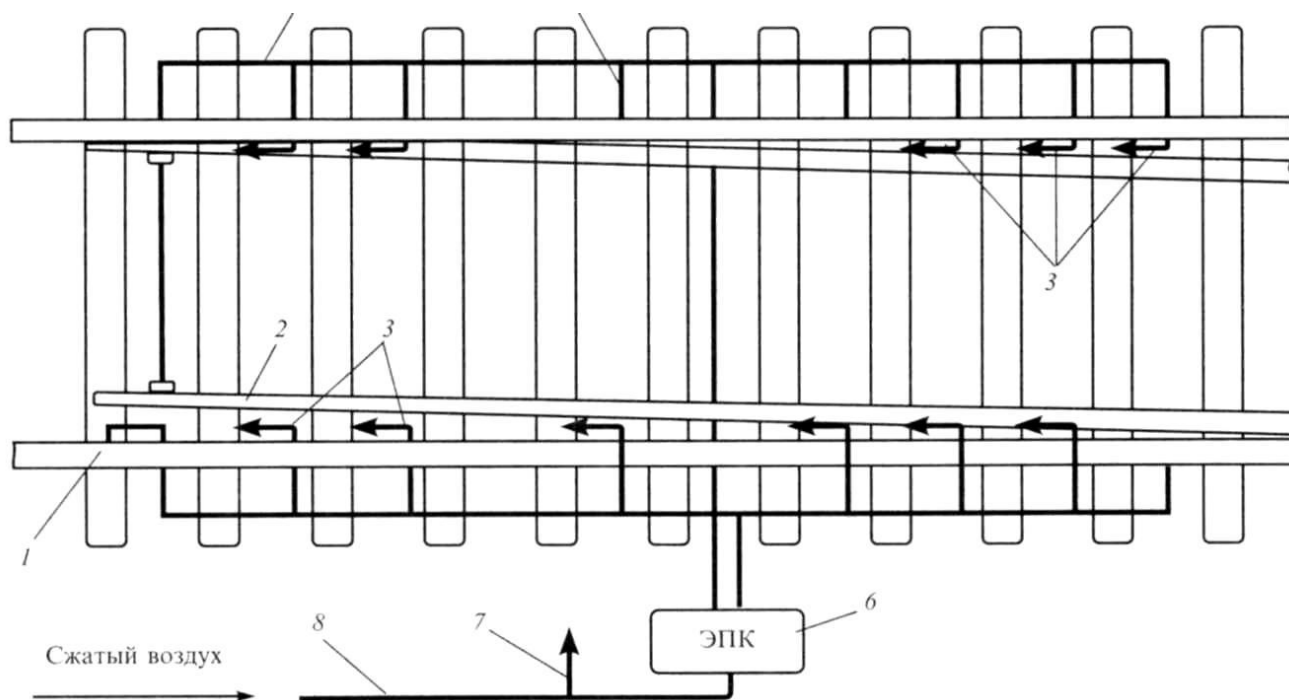
Пневмоочистительную машину типа ПОМ эффективно применять в условиях обильных снегопадов на сети дорог для очистки горловин станций и станционных путей. Недостатком системы является необходимость регулярных проходов машины по стрелочному переводу. Для обеспечения работы машины требуются дополнительно локомотив и технологические окна.

Очистка стрелочных переводов от снега стационарными устройствами пневматической обдувки, электро- и газообогрева, обслуживаемыми, как правило, автоматизированным дистанционным управлением с поста электрической централизации (ЭЦ) или стрелочного поста.

Пневмообдувка используется при сухом снеге с начала снегопада или метели в течение 2-4 ч. По прошествии этого времени снегоуборочные поезда или другие средства должны убирать снежные валы, образованные у стрелочных переводов в результате работы пневмоустройств. При очистке стрелочных переводов и глухих пересечений от снега в первую очередь очищают пространство между рамными рельсами и остряками стрелок, тяги электроприводов, подвижные сердечники крестовин, контррельсовые и крестовинные желоба.

Конструкция стационарных пневмообдувочных устройств Института Гипротрансигнал связь (ГТСС) показана на рисунке 4 и включает в себя следующие основные части стрелочной арматуры: трубопроводы из дюймовых труб, располагаемые вдоль рельсов и подводящие и распределяющие сжатый воздух к отводам с соплами; отводы с соплами, из которых воздух под

давлением не менее 0,354 МПа (3,5 кг/см²) на выходе подается в пространство между отжатым остряком и рамным рельсом; трубы диаметром 1,5 дюйма, подводящие воздух от электропневматического клапана дистанционного управления ЭПК-64 к трубопроводам.



1 – рамный рельс; 2 - остряк; 3 - обдувочные сопла;

4 - распределительный трубопровод; 5 - отвод к соплу;

6 - электропневматический клапан; 7 - подключение переносных шлангов для обдувки; 8 - магистральный трубопровод

Рисунок 4. Конструкция пневмообдувочных устройств в стрелке

Число сопел в арматуре на один остряк обыкновенного стрелочного перевода зависит от типа стрелки и марки крестовины и составляет: 9 шт. – при рельсах Р43 и Р50 и марках крестовин 1/9, 1/11 на обыкновенных и перекрестных стрелочных переводах; 11 шт. - при Р65, М 1/9 и 1/11; 13 шт. - при Р65, М 1/11 с подуклонкой; 24 шт. - при Р65, М 1/18.

В зависимости от снегозаносимости, интенсивности поездной и маневровой работы различают следующие автоматические устройства и способы очистки пневмообдувом:

- однопрограммное пневмоочистительное устройство с шаговой системой управления для крупных станций и узлов, обеспечивающее поочередную очистку в районах слабой заносимости, стрелок;

- многопрограммное пневмоочистительное устройство с блочной системой управления для крупных станций и узлов с интенсивной поездной и маневровой работой в районах средней и сильной снегозаносимости;

- пневмоочистительное устройство с малым компрессором для промежуточных станций, участков с ДЦ, пологих стрелок, а также для одиночных стрелочных переводов, удаленных от станции.

Блочная система управления осуществляет три способа очистки:

циклический - на всех стрелках; групповой - на наиболее деятельных стрелках выделенных в отдельную группу; индивидуальный - на любой стрелке с учетом погодных условий. При этом возможны три режима работы - нормальный, облегченный и усиленный, характеризующиеся продолжительностью продувки и интервалами между продувками. Обычно продолжительность продувки при циклическом и групповом циклическом составляет: при облегченном режиме - 4 мин, при нормальном - 4 мин, при усиленном - 5 мин., соответственно со следующими интервалами между продувками - 6, 2 и 0,2 мин. Продолжительность индивидуальной продувки 8 мин.

При отключенной автоматике очистка стрелочных переводов производится шланговой ручной обдувкой, которая должна выполняться двумя монтерами пути. Один из них (старший) следит за проходом поездов, открывает разобщительный кран воздухопроводной колонки и переносит шланг, а второй - выполняет собственно работу по очистке снега на стрелке.

Электрообогрев с дистанционным и местным управлением предназначен для текущей очистки от снега и льда стрелочных переводов, оборудованных ДЦ; он наиболее эффективен в районах, где преобладают оттепели и выпадает мокрый снег. Электронагревательное устройство стрелок состоит из нагревательных элементов, расположенных в зоне прилегания острия к рамным рельсам, распределительных шкафов, системы энергопитания, пульта дистанционного управления и прибора автомата-сигнализатора контроля изоляции (АКИ-2), исключающего влияние электрообогрева на рельсовые цепи.

В качестве электронагревателей используются круглые стержневые трубчатые элементы (ТЭН) диаметром 13-16 мм или более эффективные - плоские подошвенные. Стержневые нагреватели устанавливаются с внешней стороны рамного рельса по упоркам в месте перехода шейки в подошву. Между упорками ставят экраны с теплоизоляцией. Электрообогрев должен включаться не менее чем за 40-60 мин до начала снегопада, а выключение - через 30-40 мин после его окончания, чтобы обеспечить полное испарение влаги с элементов стрелки и исключить образование наледей на остриях, рамных рельсах и подушках.

Ручная очистка стрелочных переводов от снега и льда. При снегопадах и метелях очистка стрелочных переводов, не оборудованных стационарными устройствами пневмообдува и электрообогрева, производится в соответствии с Типовыми технически обоснованными нормами времени на работы по снегоборьбе.

При очистке стрелочных переводов от снега в первую очередь очищают пространство между рамными рельсами и остриями стрелок, тяги электроприводов, подвижные сердечники крестовин, контррельсовые и крестовинные желоба, т. е. непосредственно саму стрелку.

При выполнении работ по сколке льда на стрелочных переводах и в местах препятствий необходимо соблюдать меры предосторожности, исключающие возможность перекрытия сигналов. На стрелочных переводах

для сколки льда может быть применен ручной, а также ударный пневматический или электрический инструмент.

На стрелках, оборудованных стационарными устройствами пневмоочистки, ручного труда при профилактической очистке стрелок требуется меньше, чем на стрелках, не оборудованных этими устройствами. Нормы по расходу труда при шланговой пневмообдувке стрелок, оборудованных стационарными устройствами пневмоочистки, для двух монтеров пути 4-го и 2-го разрядов приведены в таблице. Следует учитывать, что при применении стационарных устройств пневмоочистки стрелок от снега дополнительная шланговая пневмоочистка стрелок производится круглосуточно. На малодеятельных станциях расход труда на ручную пневмообдувку стрелок меньше, так как стрелки для приготовления маршрутов переводятся реже. При электрообогреве стрелок в бесснежный период и при слабых снегоотложениях (до 10 см) профилактическая очистка стрелок не производится. При снегоотложениях более 10 см очистка стрелок с электрообогревом производится только в дневную смену по нормам на ручное обметание и очистку стрелок в соответствии с Типовыми технически обоснованными нормами времени на работы по снегоборьбе.

Одно из условий безотказной работы стрелочного перевода в зимний период - отсутствие скоплений наледи и снега в зонах работы подвижных узлов и деталей: между остряком и рамным рельсом, в шпальных ящиках под рабочими тягами приводов и внешними замыкателями, на крестовинах с подвижным сердечником. Для обеспечения надёжной работы стрелочных переводов в зимнее время от негативных воздействий снега и льда используются различные способы и системы. В настоящее время можно сказать следующее: каждая из систем имеет преимущества для конкретных условий работы, поэтому применять целесообразно все системы. На основании уже полученных данных можно предварительно рекомендовать сферы применения различных систем обеспечения надёжной работы стрелочных переводов в зимних условиях.

Список литературы:

1. Инструкция по подготовке к работе в зимний период и организации снегоборьбы на железных дорогах, в других филиалах и структурных подразделениях ОАО «РЖД», а также его дочерних и зависимых обществах», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 22 октября 2013г №2243/р .

УДК 528.48:69

Безбалластные системы верхнего строения пути

Измалков А.В.

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы, связанные с безбалластными системами верхнего строения пути. Рассмотрены вопросы математического моделирования верхнего строения пути.

Ключевые слова: верхнее строение пути, математическая модель, балласт.

В настоящее время происходит постоянное увеличение скоростей движения поездов и нагрузок на конструкции железнодорожного пути. В тоннелях эти нагрузки также передаются на обделку, а напряженно-деформированное состояние тоннельных конструкций при применении безбалластного пути и больших осевых нагрузках требует дальнейшего изучения. Для проведения такого исследования разработана численная модель железнодорожного тоннеля круглого сечения с безбалластной конструкцией пути, включающей подрельсовую опору, упругий слой и путевой бетон. В результате расчета модели получены значения главных вертикальных напряжений в основных тоннельных конструкциях. Установлено, что при увеличении нагрузок от колеса на рельс со 100 до 200 кН напряжения в среднем возрастают на 50%. На распределение напряжений оказывает влияние жесткость упругого слоя. При ее увеличении вертикальные напряжения в подрельсовой опоре нелинейно уменьшаются, а в путевом бетоне нелинейно возрастают.

Эффективное развитие железнодорожного транспорта в Российской Федерации невозможно без расширения сети скоростных железных дорог, увеличения провозной способности путей сообщения, роста объемов грузовых и пассажирских перевозок. Решение этих задач приводит к необходимости существенного увеличения нагрузок на конструкции и сооружения железных дорог, к которым в частности относятся тоннельные пересечения.

Относительная протяжённость тоннельных пересечений в сети железных дорог России не превышает 0,1%, однако они могут значительно ограничивать эксплуатационные характеристики как отдельных участков пути, так и направления в целом.

Особенно остро эти проблемы будут проявляться по мере развития высокоскоростных магистралей. В настоящее время в ведущих западных странах скорость движения грузовых поездов в тоннелях достигает 160 км/ч, пассажирских - 250 км/ч и более. Соответствующие установленные скорости движения поездов в тоннелях в России не превышают 65 км/ч.

Задача по увеличению провозной способности железной дороги также решается путём ввода в обращение поездов с осевыми нагрузками до 300 кН, что вызывает необходимость увеличения несущей способности и надежности верхнего строения пути.

Безбалластный путь с подрельсовыми опорами и безбалластный путь системы масса пружина с расчетной жесткостью.

Комплексный анализ исследований напряженного состояния балластной призмы при движении поездов с повышенными осевыми нагрузками, выполнен в работе. Установлено, что напряжения в балластном слое линейно возрастают при увеличении скорости движения поезда и осевой нагрузки. Например, рост осевой нагрузки с 230 до 250 кН/ось приводит к увеличению напряжений на основной площадке пути на 6,8%, с 230 до 270 кН/ось - на 15,3%.

С увеличением нагрузок на железные дороги все более широкое внедрение находят безбалластные конструкции пути, позволяющие значительно увеличить надежность участка железнодорожной линии, снизить шум, вибрацию и эксплуатационные затраты на содержание пути.

В то же время экспериментальные исследования напряжений в элементах конструкции безбалластного пути, показывают, что при применении безбалластной конструкции затухание вертикальных напряжений происходит менее интенсивно чем в обычной конструкции на балласте. Увеличение скорости движения поезда с 70 до 200 км/ч вызывает соответствующий рост вертикальных напряжений на основной площадке земляного полотна до 20%.

В тоннеле временные нагрузки от подвижного состава будут передаваться на путевой бетон и обделку. Напряженно-деформированное состояние тоннельных конструкций при применении безбалластного пути и больших осевых нагрузках требует дальнейшего изучения.

В настоящее время в тоннелях в России рекомендованы к применению две конструкции безбалластного пути (Инструкция по применению конструкции верхнего строения пути в тоннелях. Распоряжение ОАО "РЖД" № 2607р от 18.12.2012 г):

1. Безбалластный путь с подрельсовыми опорами, омоноличенными в путевом бетоне через упругий слой с расчетной (пониженной) жесткостью.
2. Безбалластный путь системы масса пружина с расчетной (пониженной) жесткостью).

Примером безбалластного пути 1 типа является система LVT (Low Vibration Track), которая включает рельсы, рельсовые скрепления, железобетонные полушпалы с резиновыми чехлами и амортизирующими прокладками, несущую конструкцию основания пути из неармированного бетона.

К конструкциям II типа в частности относятся системы Vcg1 и RHEDA (Sengeberg). Конструкция состоит из малогабаритных плит из высокопрочного бетона или фибробетона, упругого слоя податливости и жесткого бетонного основания.

Решение задачи по анализу напряженного состояния такого многокомпонентного пространственного объекта, как железнодорожный тоннель с применением аналитических методов весьма затруднена. Наиболее эффективным и апробированным подходом является применение метода конечных элементов.

Возможность использования данного метода для анализа напряжений в безбалластной конструкции пути в частности подтверждается выполненным в работе сравнением расчетных и экспериментальных значений продольных напряжений в несущей плите безбалластного пути. Максимальное отклонение не превысило 17%.

Так например, при моделировании железнодорожного тоннеля выполненного в программном комплексе «Лира-9.4», разработана объемная конечно-элементная модель прямоугольной формы размером 75x75x100 м.

Железнодорожный тоннель принят однопутный, круглого сечения радиусом в свету 3,85 м, толщина обделки - 300 мм.

Граничные условия модели заданы в виде ограничений перемещений узлов внешних граней модели по нормали к ним. В интересующей с точки зрения поставленной задачи области использована густая сетка пространственных конечных элементов с размером грани не более 5 см. Размер граней конечных элементов обделки принят равным 10 см, окружающий скальный грунт моделировался в виде сетки конечных элементов размером от 10 до 250 см с постепенным увеличением от тоннеля вглубь массива.

Физико-механические характеристики материалов модели представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики материалов модели.

Тип конструктивного элемента	Начальный модуль упругости, МПа·10 ⁻³	Удельный объемный вес, кН/м ³	Коэффициент поперечной деформации
Рельс Р65	210	78	0,3
Подрельсовая опора В40	36	25	0,2
Упругий слой	2	18	0,4
Путевой бетон В15	24	25	0,2
Обделка (бетон В35)	34,5	25	0,2
Грунт (скальный)	15	27	0,3

Для оценки влияния временных нагрузок от подвижного состава на напряженное состояние конструкций тоннеля модель нагружалась только сосредоточенными нагрузками от колес вагона на рельс.

Результаты расчетов показывают, что при увеличении вертикальной нагрузки со 100 до 200 кН вертикальные напряжения в конструкциях тоннеля возрастают в среднем на 50%. На упругой стадии деформирования материалов зависимость напряжений от нагрузки имеет линейный характер.

Следует отметить, что главные вертикальные напряжения при увеличении жесткости упругого слоя в подрельсовой опоре нелинейно уменьшаются, а в путевом бетоне нелинейно возрастают.

В целом результаты математических моделей свидетельствуют о целесообразности при проектировании конструкций железнодорожного тоннеля проведения анализа многослойной системы «рельс - подрельсовая опора - путевой бетон - обделка - грунт». Рассмотрение этой системы при действии расчетных сочетаний постоянных, временных и особых нагрузок

позволит определить оптимальные прочностные и деформационные параметры конструкций и повысить технико-экономические показатели проектных решений.

Список литературы

1. Фролов Ю.С. Тоннели на высокоскоростных железнодорожных магистралях // Транспорт российской федерации. 2010. №1 (26). С. 28 - 31.
2. Морозова А.А. Несущая способность подшпального основания железнодорожного пути на участках обращения поездов с осевыми нагрузками до 300 кН: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06. Санкт-Петербург, 2014. 184 с.
3. Сидоренко А.А. Моделирование работы безбалластной конструкции верхнего строения железнодорожного пути // Modern directions of theoretical and applied researches 2014. URL: sworld.com.ua/konfer34/593.pdf.
4. G.Michas. Slab track system for High // Speed railways. Royal Institute of Technology (KTH). Sweden, Stockholm. 2012. 107 p.
5. S.Y. Jang, H.S. Lee. Development of prefabricate concrete slab track system and trial installation on revenue line // Korea railroad research institute. South Korea, Uiwang. 2008. 68 p.
6. Колос А.Ф., Сидоренко А.А., Соловьев С.В. Особенности напряженного состояния грунтов подплитного основания при безбалластной конструкции верхнего строения пути // Инженерный вестник Дона. 2014. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2443.
7. Колос А.Ф., Мирсалихов З.Э. Исследование деформативных свойств лессовидных супесей при воздействии вибродинамической нагрузки от скоростного подвижного состава // «Инженерный вестник Дона». 2012. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012.
8. Савин А.В. Выбор конструкции безбалластного пути // Проблемы проектирования, строительства, диагностики и технического содержания объектов железнодорожного транспорта. URL: zab.megalink.ru/conference/stat_ya_savin_v_zabiiizht_2013.pdf.
9. Бойков И.В, Свинцов Е.С., Дудкин Е.П. Направления реконструкции железнодорожных путей комплекса «Байконур» // Транспорт Российской Федерации. 2005. №1. С. 39 - 41.
10. Быкова Н.М., Каргапольцев С.К., Пыхалов А.А., Милов А.Е. Моделирование работы тоннелей в условиях геодеформационных воздействий // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. №11. С. 48 - 52.
11. Быкова Н.М., Зайнагабдинов Д.А. Математическое моделирование работы тоннельных обделок с учетом геодеформационных воздействий в зонах разломов земной коры // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2007. №1(13). С. 37 - 45.

УДК 528.48:69

Методы диагностики балластного слоя

Яловенко С.В.

Аннотация: В статье рассмотрены основные методы диагностики балластного слоя. Приведены положительные и отрицательные стороны каждого метода, выявлены области применения.

Ключевые слова: железнодорожный путь, балласт, диагностика.

Обеспечение безопасности движения поездов стимулирует развитие методов диагностики, включая скоростные, которые позволяют получать непрерывную информацию о фактическом состоянии балласта и земляного полотна на протяженных участках железнодорожного пути .

диагностика земляного полотна - это отрасль знаний, которая занимается:

- изучением и установлением параметров, признаков и причин неисправного состояния объектов земляного полотна (под "состоянием земляного полотна" следует понимать комплекс характеристик(параметров или признаков), оценивающих его работоспособность на данный момент времени и в существующих условиях эксплуатации);
- прогнозированием возможности возникновения деформаций земляного полотна;
- разработка новых принципов, методов и технических средств диагностирования с целью обнаружения и локализации деформаций

Технологический регламент предлагаемой системы диагностики и режимных наблюдений объектов земляного полотна дополняет надзор за их состоянием, который должен проводиться согласно положениям Инструкции по содержанию земляного полотна ЦП-544.

Технологический регламент предназначен для определения состава, порядка и методик выполнения работ по мониторингу состояния земляного полотна и позволяет выявлять появление внезапных деформаций, создающих угрозу безопасности движения поездов, и оптимизировать расходы на выполнение работ по усилению земляного полотна.

Для оценки состояния земляного полотна необходимо получить его диагностические параметры:

- значение упругой осадки грунтов;
- величину просадок рельсовой колеи;
- вибрационные параметры грунтов;
- значение скоростей сейсмических волн в грунтах;
- удельное электрическое сопротивление грунтов;
- геометрия слоев грунта;
- параметры свойств грунтов.

Метод определения качества основания пути по данным грузовых поездов

Измерительные поезда выполняют работу на стадии предварительного обследования. На этой стадии по данным грузового поезда (рисунок 1) выявляются неустойчивые участки земляного полотна на основе интерпретации напряженно-деформированного поля, возникающего в грунтах под действием создаваемых нагрузок.



Рисунок 1. Измерительные поезда

Эти участки связаны с различной сжимаемостью грунтов подшпального основания и земляного полотна. Величина сжимаемости отражает степень деформативности грунтов. Однако, по данным обработки измерений грузового агрегата не выявляется основная причина (первопричина) повышенной деформируемости этих грунтов. Для выявления основных причин данные грузового поезда интерпретируются совместно с результатами других методов (геолого-геофизических, данных лент вагонов-путеизмерителей, натурного осмотра и др. материалов).

Методика позволяет дать качественные характеристики работы верхнего строения пути и подрельсового основания (в ближней зоне -0,5-1 м) и грунтов, входящих в активную зону действия нагрузки (до 6 м).

Физической основой этого метода является свойство грунта сжиматься под воздействием вертикальной нагрузки и восстанавливаться после ее снятия. Величина упругой деформации является диагностическим параметром, качественно характеризующим прочностные свойства грунта подрельсового основания и земляного полотна на данный момент времени.

Измерение упругой осадки производится непрерывно при проходе грузового поезда, записывается на ЭВМ, и, после соответствующей обработки записей, определяется ее значение в любой точке пройденного профиля пути.

При грузовых испытаниях, в грунтах возникает напряженно-деформируемое поле, которое регистрируется датчиками измерительной системы диагностического поезда и отображается в виде осциллограмм. Для обработки этих осциллограмм с целью оценки качества грунтов разработана методика, в основу которой положена теория интерпретации различных физических полей. Она определяет связи между параметрами поля (градиента,

формы, простирания и т.п.) и инженерно-геологическими условиями, в которых находится сооружение.

Георадиолокационный метод физической основой этого метода является способность электромагнитных волн, посылаемых в грунты, отражаться от границ слоев, имеющих различные электрофизические свойства. Георадиолокационный метод дает возможность представить внутреннее строение диагностируемого объекта в виде разреза слоев грунта.

Метод основан на определении геологических характеристик земляного полотна и основания по параметрам коротких высокочастотных электромагнитных импульсов от генератора, передаваемых и принимаемых через антенны, расположенные на поверхности грунта. В качестве параметров импульсов, определяющих геологические слои, их форму и глубину расположения границ между ними, являются скорость распространения волн и коэффициент поглощения. Глубина исследования грунтов радиолокационным методом зависит от разрешающей способности георадара и состава грунтовой толщи. Для глин, являющихся сильно поглощающими грунтами, толщина слоя, в котором происходит поглощение сигнала, составляет 3 – 5 м, для песчаных грунтов глубина исследования увеличивается до 25 – 30 м. Георадары представлены на рисунках 2, 3, 4.



Рисунок 2. Трехканальный георадарный комплекс с рупорными антенными блоками АБ-400Р



Рисунок 3. Комплекс скоростной георадиолокации земляного полотна «ОКО»



Рисунок 4. Состав георадара ОКО-2(универсальный базовый комплект + АБ400М + ДП-32 + ноутбук).

Применение радиолокационного метода может быть эффективно для сплошной диагностики протяженных участков земляного полотна. Георадаром возможно проведение диагностики строения основной площадки земляного полотна (определение наличия балластных углублений), исследование строения приоткосных частей насыпей (определение размеров и расположения

балластных шлейфов), определение границ торфяных грунтов в основаниях насыпей на болотах, а также границ расположения мерзлых грунтов, а так же:

- Определение толщины и литологического строения балластного слоя с выделением слоя щебня, загрязненного мелкими частицами и мест с повышенной влажностью;
- Определение положения верхней границы грунтов земляного полотна и литологического строения его под основной площадкой на глубину до 10 м.;
- Выделение мест в земляном полотне с ослабленными зонами, характеризующимися пониженной плотностью и повышенной влажностью;
- Нахождение в балластном слое и земляном полотне инородных тел (кабелей, элементов верхнего строения пути, крупных камней и т.п.);
- Определение мест нахождения подповерхностных инженерных сооружений;
- Выделение участков с уложенными покрытиями из геотекстиля и пенополистирола;
- Осуществление проверки качества выполнения капитального ремонта пути.

Результаты работы георадара показаны на рисунках 5 и 6, на примере определения толщины конструктивных слоёв дорожной одежды.

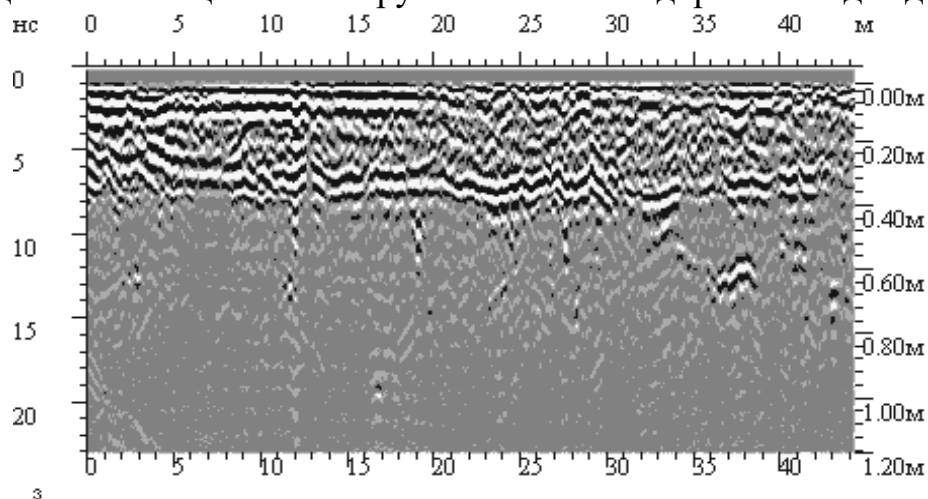


Рисунок. 5. Материал, полученный при георадарном зондировании в полевых условиях;

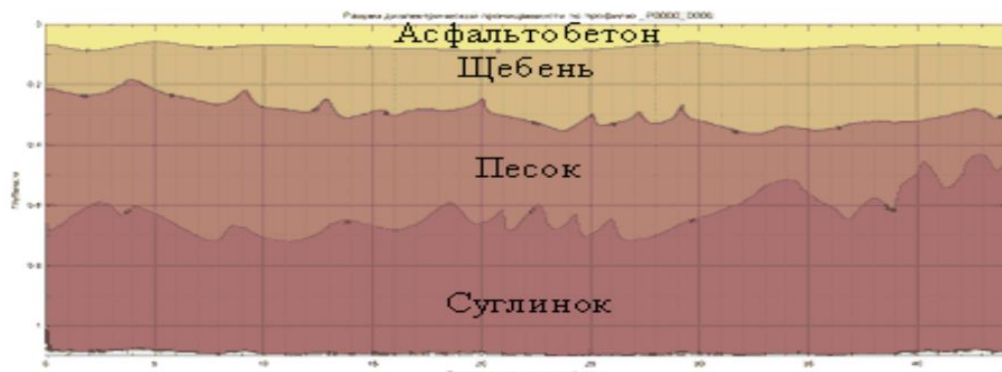


Рисунок. 6. Распознавание границ конструктивных слоёв при помощи специализированных компьютерных алгоритмов

Метод измерения упругих перемещений поверхности земляного полотна под проходящими поездами

Метод целесообразно применять для диагностирования небольших по протяжению участков. Он дает возможность качественно оценить состояние всего сооружения и выделить локальные места для детального диагностирования. Метод основан на измерении амплитуды колебания поверхности земляного полотна под действием проходящих поездов. Значения амплитуд зависят от состояния грунтов всего сооружения и его основания. Измерения проводятся с помощью низкочастотных датчиков, устанавливаемых в различных точках поверхности земляного полотна (рисунок 7).

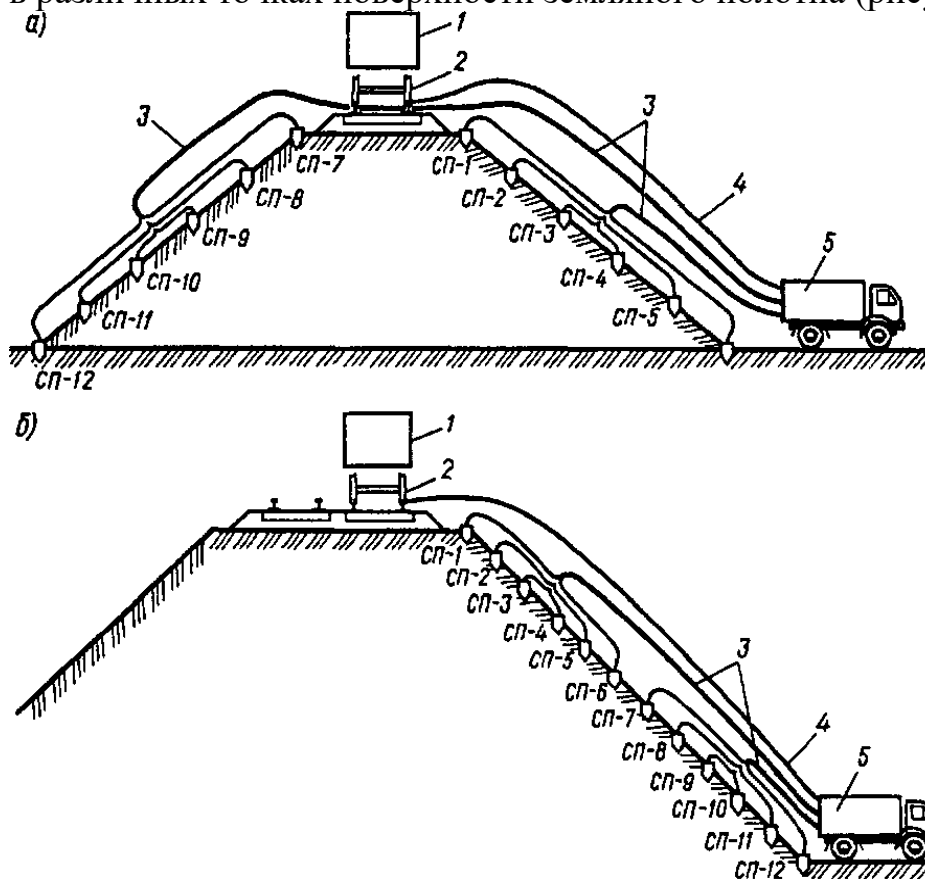


Рисунок 7. Схемы измерений колебаний грунта при диагностике насыпей высотой 6—8 м (а) и более 8 м (б): 1 — динамическая поездная нагрузка; 2 — электромагнитный отметчик прохода осей экипажа; 3 — соединительный кабель; 4 — провод отметчика осей; 5 — регистрирующая аппаратура

В сейсмическом методе регистрируются скорости упругих волн, возбуждаемых в земляном полотне ударной нагрузкой (типа молота). При этом исследуются зависимости скоростей распространения ударных волн и их амплитудно-частотных параметров в грунтовой массе, что позволяет определять внутреннее строение земляного полотна, ослабленные по прочности зоны грунта, обнаружить и оконтурить отдельные деформации в виде балластных углублений и трещин, оценивать гидрогеологические условия. К достоинствам вибросейсмической диагностики в сравнении с традиционными способами следует отнести меньшую трудоемкость работ, и возможность исследования грунтов в массиве, а не в отдельных точках. В настоящее время

на дороги поставляется компьютеризированная сейсмостанция нового поколения «Диоген-24» (рисунок 8), которая имеет 24 измерительных канала и состоит из портативных переносных блоков, включая персональную микро-ЭВМ и автономные источники питания.

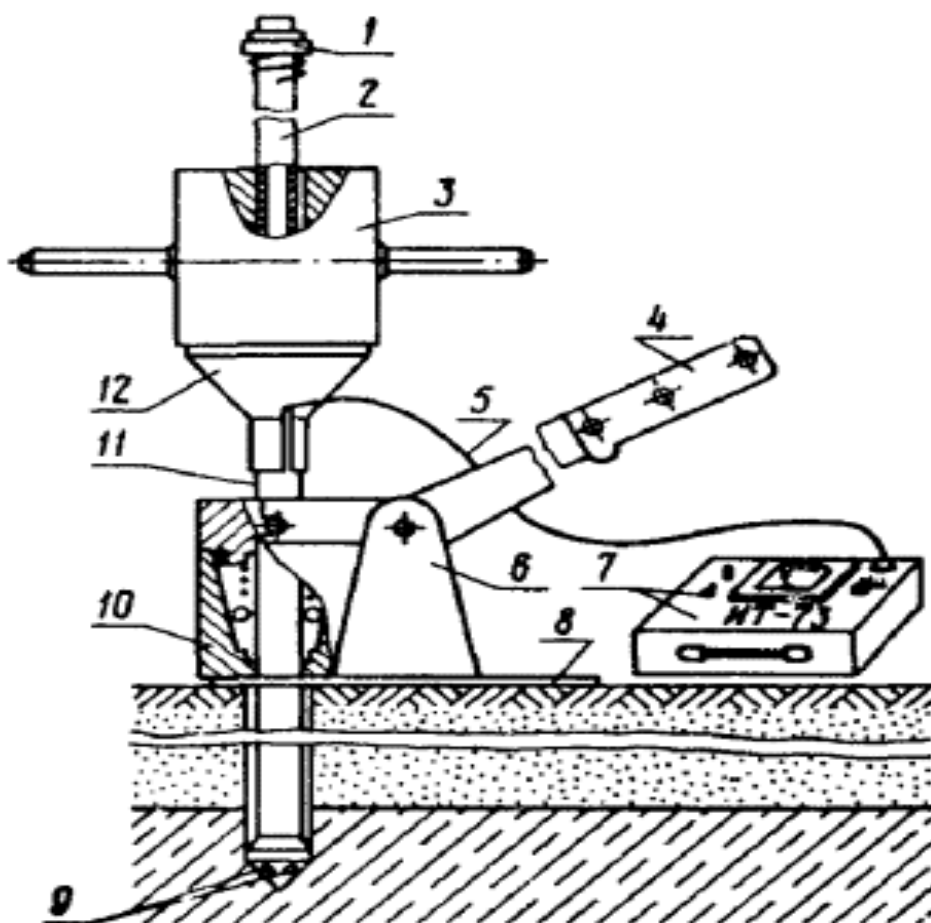


Рисунок 8. Цифровая сейсмологическая станция «ДИОГЕН»

Исследования ВНИИЖТа по сейсмодиагностике явились базой для создания передвижной диагностической лаборатории земляного полотна на вагоне (ВИГО), которыми оснащаются дорожные Центры диагностики. Передвижные лаборатории ВИГО позволяют качественно повысить уровень современной диагностики земляного полотна, обеспечивая комплексность и мобильность проведения работ.

Метод электродинамического зондирования. Этот метод сочетает электро контактное зондирование с динамическим зондированием грунтов. Глубина исследований при ЭДЗ составляет 5 – 7 м. с помощью данного метода эффективно определение в теле земляного полотна или его основании прослоев слабого грунта, он может также быть применен для оконтуривания границы оттаивания многолетнемерзлых грунтов или минерального дна для болот. Сущность метода ЭКЗ заключается в дискретном измерении силы тока, пропускаемого в исследуемый грунт через изолированные контакты, при постепенном погружении длинного металлического стержня - подвижного электрода (Рисунок.9).

Ограничением для метода являются случаи, когда в грунтовой толще присутствует крупнообломочный материал. К недостаткам метода следует также отнести большую его трудоемкость и точечность (как и при бурении) характеристики грунтового массива



- 1 - ограничитель высоты подъема груза; 2 - направляющая штанга;
3 - груз; 4 - рычаг извлекающего устройства; 5 - провод, соединяющий
изолированные контакты с измерительным прибором; 6 - стойка;
7 - измерительный прибор ИТ-73; 8 - опорная плита;
9 - двухконтактный наконечник; 10 - самозахватывающий механизм;
11 - подвижной электрод; 12 - упор для груза.

Рисунок 9. Общий вид установки электроконтактного зондирования

Метод контрольного бурения

Заключается в разработке тела земляного полотна цилиндрических отверстий – буровых скважин. Бурение – ручное, механическое.

Намечаемые в программе изысканий способы бурения скважин должны обеспечивать высокую эффективность бурения, необходимую точность установления границ между слоями, возможность изучения состава, состояния и свойств грунтов. Отбор образцов грунтов из горных выработок и естественных обнажений, а также их упаковку, доставку в лабораторию и хранение следует производить в соответствии с ГОСТ 12071.

Особое внимание следует уделять отбору образцов из зоны возможных подвижек слоев.

Колонки геологических выработок должны быть нанесены на соответствующие поперечные и продольные профили и занесены в паспорт оползневого участка.

Метод позиционирования ПАК в железнодорожной системе координат

При скоростной диагностике пути принципиально важной задачей является привязка георадиолокационных трасс к железнодорожной пикетной системе координат. При размещении на подвижных единицах, не оборудованных собственными системами позиционирования, ПАК используют ГЛОНАСС/GPS-технологии и электронную карту пути.

- Алгоритм действий ПАК по привязке георадиолокационной информации к пикетной системе координат следующий:
- из информации, формируемой при регистрации георадиолокационной трассы, выделяется время ее создания - T ;
- по данным, полученным со спутника, определяются глобальные географические координаты положения комплекса (j - широта, u - долгота) в момент времени T . Эта информация позволяет привязать радарограммы к глобальным координатам;
- используя электронные карты пути, содержащие глобальные координаты j и u пикетных железнодорожных столбов и объектов инфраструктуры, несложно получить положение трассы в принятой на железных дорогах системе отсчета.

На рисунке 10 приведен фрагмент радарограммы, полученной при обследовании участка Сочи-Туапсе после применения вышеописанного алгоритма. Вертикальными линиями отмечены параметры километр/пикет в проектной системе отсчета.

При проведении георадиолокационных работ в составе комплексов, имеющих собственную систему синхронизации и позиционирования данных в железнодорожной системе координат (например, диагностический комплекс «ИНТЕГРАЛ» ГК «ТВЕМА»), ПАК использует данные привязки этой системы или выполняет вышеописанный алгоритм.

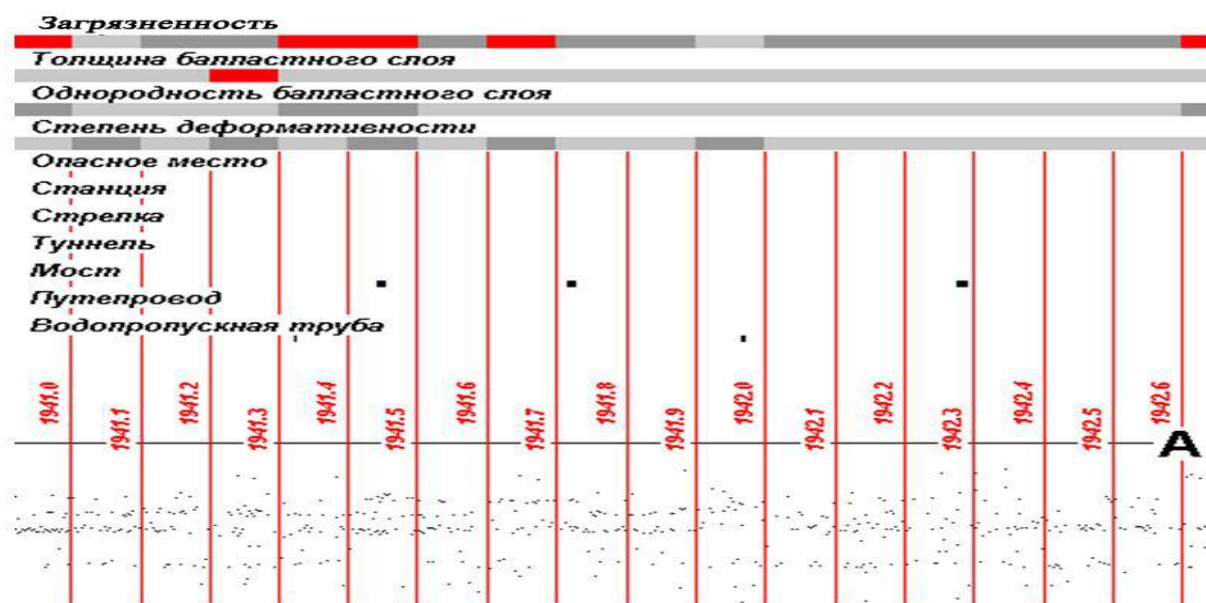


Рисунок 10. Результат работы алгоритма по привязке радарограммы к пикетной системе координат железнодорожного пути

Помимо положения километровых/пикетных столбов, на приведенной радарограмме отмечены искусственные сооружения, оси которых содержатся в электронной карте пути, а также усредненные характеристики балласта: «Загрязненность», «Толщина балластного слоя», «Однородность балластного слоя» и «Степень деформативности».

Остановимся на содержании этих характеристик подробнее.

Загрязненность балластного слоя

Характер распространения высокочастотного электромагнитного излучения в среде зависит от ее электрической проводимости и диэлектрических свойств. Электрофизические свойства балластного материала могут существенным образом изменяться при его загрязнении диффундирующим грунтом, переносимой под действием природных факторов пылью, просыпающимся на путь песком, частицами перевозимых инертных грузов, горюче-смазочными материалами и др.

Импульс георадара, распространяясь в балласте, теряет свою энергию за счет поглощения проводящей средой и рассеяния от имеющихся неоднородностей и слоев.

Средняя загрязненность на пикете

Для определения средней загрязненности на километровых участках, приведенных в таблице 1, выполнено 40 просеиваний балластного материала согласно Методическим указаниям. При использовании диапазонов загрязненности (0-20%, 20-30% и свыше 30%) [7] сравнение результатов просеивания и расчета имеет следующий вид. Среди 40 измерений - диапазоны 24 совпали с рассчитанными, 13 измерений принадлежат соседним диапазонам.

Таблица 1 - Средние значения загрязненности

Номер на рисунках	Километр	Средняя загрязненность, %
1	1929	3
2	1907	18
3	1958	20
4	1916	23
5	1942	30
6	1968	34

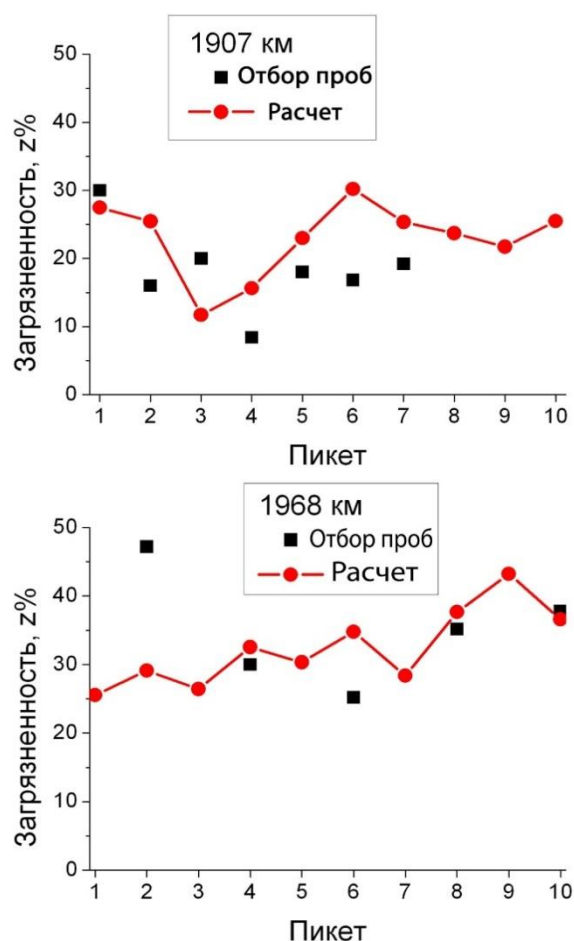


Рисунок 11. Пикетная загрязненность на участках 1907 км (а) и 1968 км (б)

Сравнение результатов просева и расчета, выполненного с использованием формулы (1) с толщиной полосы балластного слоя 0,30-0,60 м для 1907 км и 1968 км, приведено на рисунке 12.

Георадиолокационные измерения выполнены вдоль плеча балластной призмы в декабре 2010 г. Из рисунка видно, что загрязненность балластного материала в пределах 1 км может изменяться в широких пределах, превышающих 100% величины.

Влияние погодных и сезонных условий на работу ПАК

Исследование влияния погодных и сезонных условий на результаты определения степени загрязненности балластного слоя выполнено при обработке георадиолокационных измерений, осуществленных в течение года (рисунок 12). Результаты, приведенные в данном разделе, получены с использованием антенного блока АБ-1200 МГц.

Видно, что зимой полученные значения загрязненности стабильно выше, чем в весенний и осенний периоды. Это может быть связано с повышенной влажностью балластного материала.

Определение толщины балластного слоя

Разработанный ПАК позволяет определять толщину балластного слоя по отражениям сигнала георадара границами раздела слоев грунта [5].

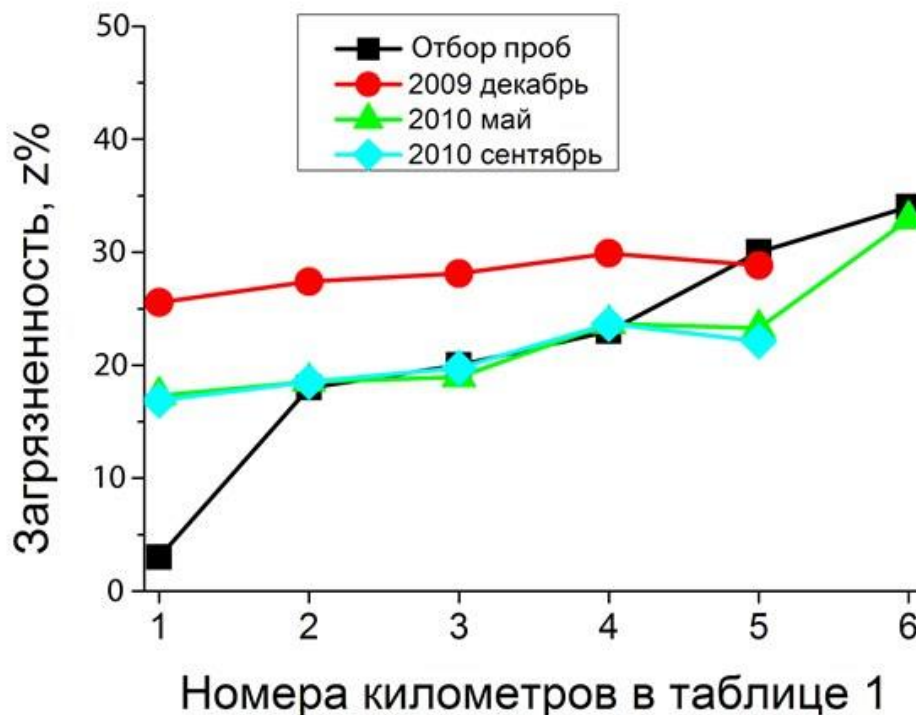


Рисунок 12. Сравнение загрязненности z , определенной с использованием антенного блока АБ-1200

В соответствии с Инструкцией по текущему содержанию железнодорожного пути (ЦП-774) ПАК формирует три диапазона возможной толщины балластного слоя: менее 0,25 м; 0,20-0,50 м и более 0,50 м. В таблице 2 в качестве примера выполнено сравнение результатов обработки радарограмм на участках 1907 км, 1916 км и 1944 км с результатами инструментальных замеров, выполненных с помощью зондировочного лома.

Видно, что из 26 приведенных в таблице случаев сравнения методов в 18 наблюдается совпадение результатов. Вместе с тем имеются точки, где инструментальный метод показал большую, чем ПАК, толщину слоев. Возможная причина расхождений может быть связана с многослойной структурой балласта, которая сформировалась из-за периодически выполняемых ремонтов.

Однородность балластного слоя

Разработанный ПАК позволяет определять структуру щебеночных слоев балластной призмы.

На рисунке 13 представлены результаты обработки георадиолокационного профиля на 1916 км. Согласно таблицы 2 на этом километре имеется существенное расхождение в толщине балластного слоя, определенной используемыми в работе методами.

Таблица 2 - Определение толщины балластного слоя

Километр, пикет		Толщина балластного слоя, м	
		Инструментальные измерения	ПАК
1907	ПК2	0,41	0,25-0,50
	ПК3	0,43	0,25-0,50
	ПК4	0,59	> 50
	ПК5	0,48	0,25-0,50
	ПК6	0,44	0,25-0,50
	ПК7	0,41	0,25-0,50
1916	ПК1	0,67	0,25-0,50
	ПК2	0,6	0,25-0,50
	ПК3	0,63	0,25-0,50
	ПК4	0,56	0,25-0,50
	ПК5	0,68	0,25-0,50
	ПК6	0,25	0,25-0,50
	ПК7	0,3	0,25-0,50
	ПК8	0,64	0,25-0,50
	ПК9	0,28	0,25-0,50
	ПК10	0,29	0,25-0,50
1944	ПК1	0,29	0,25-0,50
	ПК2	0,55	0,25-0,50
	ПК3	0,76	> 50
	ПК4	0,33	0,25-0,50
	ПК5	0,26	0,25-0,50
	ПК6	0,58	0,25-0,50
	ПК7	0,68	0,25-0,50
	ПК8	0,51	> 50
	ПК9	0,43	> 50
	ПК10	0,53	> 50

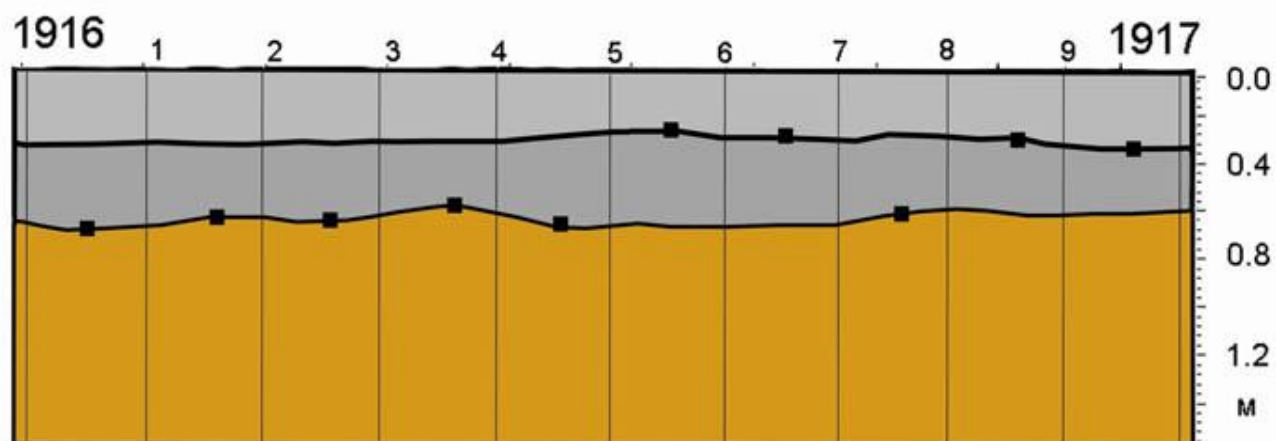


Рисунок 13. Профилирование слоев балластной призмы, определенных методом георадиолокации. (Черными квадратами отмечены результаты инструментальных измерений)

Из рисунка видно, что в балластном слое имеется две границы раздела: 0,35 и 0,60 м. Там же показаны результаты инструментальных измерений. ПАК связал толщину балластного слоя с первой границей раздела на всех пикетах указанного километра пути, поскольку она оказалась контрастнее, чем вторая.

Метод георадиолокации, как неразрушающий, требует тарировки инструментальными методами. Однако, эту процедуру необходимо проводить с учетом слоистой структуры балластного материала. Учет многослойности балласта при детальном сравнении результатов георадиолокации и инструментального обследования привел к тому, что для 42-х точек инструментальных замеров на перегоне Туапсе-Сочи расхождение более 0,1 м выявлено в 5% случаев, менее 0,1 м - в 25%, около 0,05 м - в 70% случаев. При работе ПАК индикатором многослойной структуры балластной призмы служит алгоритм подсчета слоев в интервале глубин 0-0,60 м.

Итак, определить толщину балластного слоя с учетом его слоистой структуры можно минимальным комплексом геофизических методов, включающем георадиолокацию, как метод получения непрерывной информации о балластном материале; инструментальные замеры (например, с использованием зондировочного лома), необходимые для тарировки глубин метода георадиолокации.

Получаемая таким образом информация необходима при проектировании ремонтов и модернизации пути

Степень деформативности. Важной характеристикой состояния балластного материала, определяемой по радарограммам, является угол наклона балластных слоев к горизонтали. Чередование знаков углов позволяет отличить балластные углубления от возможных напластований балластного материала, а значения их модулей дают возможность оценить геометрические размеры (протяженность и глубину) балластных углублений.

Анализ изменения угла наклона, выполняемый при многократных обследованиях, позволяет определить динамику развития балластных углублений и планировать мероприятия по стабилизации пути.

Все перечисленные методы и технические средства контроля состояния земляного полотна позволяют получать диагностические данные в цифровом виде и в единой координатной привязке, что существенно повышает достоверность информации, а также дает возможность оценивать текущее состояние элементов железнодорожного пути и накапливать полученную информацию в базах данных, комплексно анализировать информацию, осуществлять паспортизацию земляно полотна и выдавать рекомендации по реабилитационным мероприятиям.

Список литературы:

1. Методика диагностики состояния высоких насыпей с прогнозом возможности деформаций / ОАО «РЖД», МИИТ. – М. : НИИТКД, 2007.
2. Особенности обработки георадиолокационных данных, получаемых в непрерывном скоростном режиме / Колесников В.И. [и др.] : тр. междунар. науч.-тех. конф. «Современные проблемы путевого комплекса. Повышение качества подготовки специалистов и уровня научных исследований». – М. : МИИТ, 2004.
3. Георадиолокационная диагностика пути / В.И. Колесников [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2007. – № 3.
4. Геофизические методы исследования: учеб. пособие для вузов / В.К. Хмелевской, [и др.] / под ред. В.К. Хмелевского. – М. : Недра, 1988.
5. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных : учеб. пособие. – М. : Изд-во МГУ, 2008.
6. Оценка засоренности балласта железнодорожного пути методом георадиолокации / В.Б. Воробьев, В.И. Колесников, В.А. Явна // Инженерная и рудная геофизика : сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Геленджик : EAGE, 2008.
7. Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути / ЦПТ-53 / ОАО «РЖД», Департамент пути и сооружений, ВНИИЖТ. – М. : Академкнига, 2004.

Секция «Теоретическая механика, детали машин и конструирование»

УДК 62.89

Движение материальной точки по подвижной поверхности

Макогонов А.А.,

Руководитель: Федоринин Н.И.

Одним из определяющих факторов движения железнодорожного транспорта является сила сухого трения. Однако, в виду кусочно-линейной характеристики этой силы, аналитические решения задач движения весьма затруднены. Поэтому имеет смысл исследовать вопросы движения с учетом сил трения на простейших моделях.

Материальная точка массой m находится на изначально горизонтальной поворотной плоскости, которая затем начинает изменять угол своего положения относительно горизонта по линейному закону $\alpha = \pi - \omega_0 t$

(ω_0 – постоянная величина) до некоторого значения α_k ($\frac{\pi}{2} \leq \alpha_k < \pi$).

Материальная точка остается неподвижной относительно поворотной плоскости, а в некоторый момент под действием силы тяжести начинает скольжение относительно этой плоскости. Коэффициент трения точки о поверхность μ . Ось вращения поверхности располагается на одном уровне с началом координат на расстоянии L_0 от него.

В качестве обобщенной координаты принимаем s – смещение точки относительно поворотной плоскости.

Координаты точки

$$x = L_0 + (L_0 - s) \cos \alpha$$

$$y = (L_0 - s) \sin \alpha.$$

Скорость точки

$$\dot{x} = -\dot{s} \cos \alpha - (L_0 - s) \sin \alpha (-\omega_0) = -\dot{s} \cos \alpha + (L_0 - s) \omega_0 \sin \alpha$$

$$\dot{y} = -\dot{s} \sin \alpha + (L_0 - s) \cos \alpha (-\omega_0) = -\dot{s} \sin \alpha - (L_0 - s) \omega_0 \cos \alpha.$$

Кинетическая энергия точки

$$E = \frac{m(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)}{2} = \frac{m(\dot{s}^2 + (L_0 - s)^2 \omega_0^2)}{2}.$$

Обобщенная сила

$$Q_s = mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha.$$

Уравнение Лагранжа 2-го рода примет вид

$$m\ddot{s} + m(L_0 - s)\omega_0^2 = mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha.$$

Пока правая часть полученного уравнения остается отрицательной точка будет неподвижна относительно поворотной плоскости ($s = 0$). Фактически движение точки начнется, когда поворотная плоскость займет угловое положение

$$\alpha_0 = \pi - \operatorname{arctg} \mu.$$

Поэтому в качестве начальных условий следует принять

$$t = \frac{\pi - \operatorname{arctg} \mu}{\omega_0}; \quad s = 0; \quad \dot{s} = 0.$$

Несколько преобразуем уравнение движения

$$\ddot{s} - \omega_0^2 s = g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) - L_0 \omega_0^2. \quad (1)$$

Полное решение уравнения (1)

$$s = C_1 e^{\omega_0 t} + C_2 e^{-\omega_0 t} - \frac{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{2\omega_0^2} + L_0 \quad (2)$$

Соответственно скорость

$$\dot{s} = C_1 \omega_0 e^{\omega_0 t} - C_2 \omega_0 e^{-\omega_0 t} + \frac{g(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}{2\omega_0}. \quad (3)$$

Подставляя начальные условия в выражения (2) и (3), получим значения постоянных интегрирования

$$C_1 = - \left(\frac{(1 - \mu - \mu^2)g}{4\omega_0^2 \sqrt{1 + \mu^2}} + \frac{L_0}{2} \right) e^{-\pi + \operatorname{arctg} \mu}$$

$$C_2 = \left(\frac{(1 + \mu - \mu^2)g}{4\omega_0^2 \sqrt{1 + \mu^2}} + \frac{L_0}{2} \right) e^{\pi - \operatorname{arctg} \mu}$$

Окончательно уравнение движения (2) примет вид

$$s = \frac{\mu g}{2\omega_0^2 \sqrt{1 + \mu^2}} \operatorname{ch}(\omega_0 t - \pi + \operatorname{arctg} \mu) - \left(\frac{(1 - \mu - \mu^2)g}{2\omega_0^2 \sqrt{1 + \mu^2}} + L_0 \right) \operatorname{sh}(\omega_0 t - \pi + \operatorname{arctg} \mu) - \frac{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{2\omega_0^2} + L_0. \quad (4)$$

Полученная формула (4) позволяет исследовать влияние силы сухого трения на движение тела по поворачивающейся в вертикальной плоскости поверхности.

УДК 62.89

Моделирование эпюры давлений при исследовании закономерностей формообразования деталей подвижного состава для образца сложной формы

Зотов А.И.

Для обеспечения развития транспорта, повышения безопасности и эффективности транспортного обслуживания необходимы меры и новые технологии, направленные на развитие транспортного комплекса.

При крупносерийном производстве деталей транспортных систем весьма эффективно применение процессов обработки металлов давлением (ОМД),

которые позволяют изготавливать заготовки с высокой степенью технологичности. Немало таких деталей получают из плоских заготовок. В частности, детали с ребрами жесткости, входящие в конструкцию рамы тележки вагона – это хребтовые балки, выполненные из швеллеров № 30, стальная накладка во всю ширину, составные брусья, шкворневые балки коробчатого сечения, промежуточные поперечные балки, крайние продольные балки, выполненные из швеллеров № 20. Несущие элементы кузовов, рам, стен и крыши современных вагонов имеют принципиально однотипное конструктивное исполнение и отличаются лишь линейными размерами, формой профилей и толщиной стенок подкрепляющих элементов и обшивки.

В последние годы для проектирования процессов ОМД на металлургических и машиностроительных предприятиях широко применяются программные комплексы (ПК), способные моделировать картину течения металла (Ansys, SuperForge, Forge, Abaqus, Deform, Qform, Splen и др.). Подавляющее большинство этих ПК базируется на методе конечных элементов, с чем связаны их положительные и отрицательные стороны. К достоинствам можно отнести: широту охвата решаемых задач; достаточно высокую точность получаемых результатов, которая обеспечивается, в основном, благодаря учету многих факторов (температуры, реологии, материала и т.п.); дружественный, удобный и простой, интерфейс. В качестве недостатков следует отметить: весьма высокие требования к параметрам компьютерной техники; значительное время расчета и моделирования одного варианта; сравнительно высокую сложность и низкую скорость создания файла входных данных; затратность обучения пользователей.

Для моделирования пространственной эпюры контактных давлений (ПЭКД) при пластическом формоизменении плоских заготовок разработан ПК EQUI [1, 2], предназначенный для расчета параметров процессов объемной штамповки иковки, обладающий следующими достоинствами: невысокими требованиями к характеристикам компьютерной техники; значительной скоростью расчетов; быстрым и нетрудоемким заданием и вводом исходной информации; легким обучением пользователей. Обеспечение указанных достоинств ПК достигнуто благодаря упрощению математической модели и приведению исходной системы дифференциальных уравнений к аналитическим зависимостям. Как следствие, значительное облегчение программной реализации расчетного алгоритма [3, 4]. Там, где требуются экспресс-анализ и быстрая (пусть и приближенная) оценка потребных усилий пресса, такая программа является незаменимым помощником.

Разработанный ПК EQUI позволяет строить ПЭКД для любых по сложности и форме многосвязных контуров. При этом наглядность получаемого изображения обеспечивается благодаря «прозрачности» моделируемых поверхностей. Вместе с тем, удобство анализа формы ПЭКД заключается в возможности рассмотрения полученных поверхностей в разных конструктивных исполнениях (см. рис.).

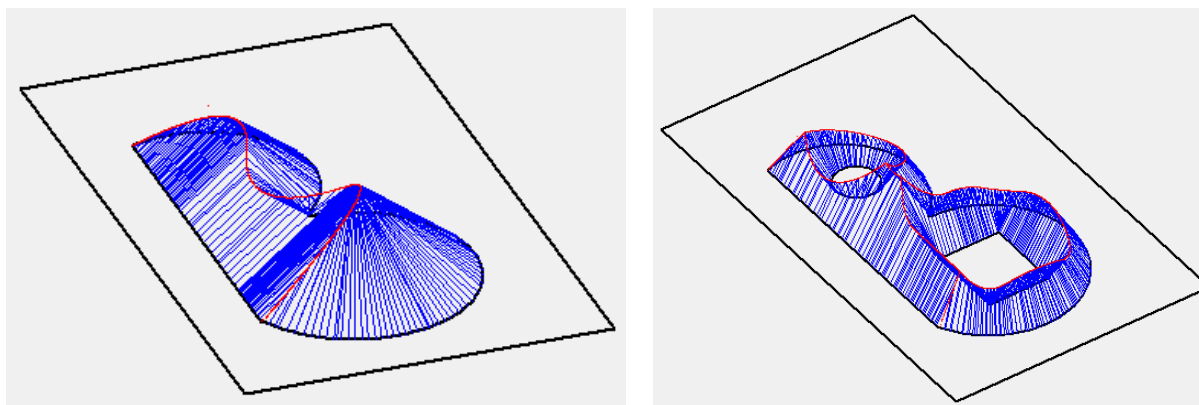


Рисунок. Результаты моделирования ПЭКД:
слева – без выреза, справа – с вырезом

Анализ формы ПЭКД для двух конструктивных вариантов – сплошная заготовка и с технологическим вырезом – позволяет сделать вывод, что для штамповки поковки с вырезом требуется меньше усилий прессы, а, следовательно, таким способом можно существенно снизить энергозатраты. При этом следует иметь в виду, что в ходе деформирования заготовки технологический вырез уменьшается в размерах до полного исчезновения. Это в конечном итоге является существенным моментом, поскольку в окончательной поковке он может быть не предусмотрен.

Использованные источники

1. Соломонов К.Н. Моделирование течения металла в процессах объемной штамповки оребренных деталей // Технология легких сплавов, 2005, № 1-4, с. 142-149.
2. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Методика построения линии раздела течения металла в процессах осадки плоских заготовок // Вестник научно-технического развития, 2016, № 2, с. 36-55.
3. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48
4. Solomonov K.N. Application of CAD/CAM systems for computer simulation of metal forming processes // Materials Science Forum, 2012, v. 704-705. pp. 434-439.

УДК 62.89

Исследование закономерностей формообразования плоских заготовок при производстве деталей подвижного состава

Кротов А.В.

Для обеспечения развития транспорта, повышения безопасности и эффективности транспортного обслуживания необходимы меры и новые технологии, направленные на развитие транспортного комплекса.

При крупносерийном производстве деталей транспортных систем весьма эффективно применение процессов обработки металлов давлением (ОМД),

которые позволяют изготавливать заготовки с высокой степенью технологичности. Немало таких деталей получают из плоских заготовок. В частности, детали с ребрами жесткости, входящие в конструкцию рамы тележки вагона – это хребтовые балки, выполненные из швеллеров № 30, стальная накладка во всю ширину, составные брусья, шкворневые балки коробчатого сечения, промежуточные поперечные балки, крайние продольные балки, выполненные из швеллеров № 20. Несущие элементы кузовов, рам, стен и крыши современных вагонов имеют принципиально однотипное конструктивное исполнение и отличаются лишь линейными размерами, формой профилей и толщиной стенок подкрепляющих элементов и обшивки.

В последние годы для проектирования процессов ОМД на металлургических и машиностроительных предприятиях широко применяются программные комплексы (ПК), способные моделировать картину течения металла (Ansys, SuperForge, Forge, Abaqus, Deform, Qform, Splen и др.). Подавляющее большинство этих ПК базируется на методе конечных элементов, с чем связаны их положительные и отрицательные стороны. К достоинствам можно отнести: широту охвата решаемых задач; достаточно высокую точность получаемых результатов, которая обеспечивается, в основном, благодаря учету многих факторов (температуры, реологии, материала и т.п.); дружественный, удобный и простой, интерфейс. В качестве недостатков следует отметить: весьма высокие требования к параметрам компьютерной техники; значительное время расчета и моделирования одного варианта; сравнительно высокую сложность и низкую скорость создания файла входных данных; затратность обучения пользователей.

Для моделирования пространственной эпюры контактных давлений (ПЭКД) при пластическом формоизменении плоских заготовок разработан ПК EQUI [1, 2], предназначенный для расчета параметров процессов объемной штамповки иковки, обладающий следующими достоинствами: невысокими требованиями к характеристикам компьютерной техники; значительной скоростью расчетов; быстрым и нетрудоемким заданием и вводом исходной информации; легким обучением пользователей. Обеспечение указанных достоинств ПК достигнуто благодаря упрощению математической модели и приведению исходной системы дифференциальных уравнений к аналитическим зависимостям. Как следствие, значительное облегчение программной реализации расчетного алгоритма [3]. Там, где требуются экспресс-анализ и быстрая (пусть и приближенная) оценка потребных усилий пресса, такая программа является незаменимым помощником [4].

Разработанный ПК EQUI позволяет строить ПЭКД для любых по сложности и форме многосвязных контуров. При этом наглядность получаемого изображения обеспечивается благодаря «прозрачности» моделируемых поверхностей. Удобство анализа формы ПЭКД заключается в возможности рассмотрения полученных поверхностей в разных конструктивных исполнениях (см. рис.).

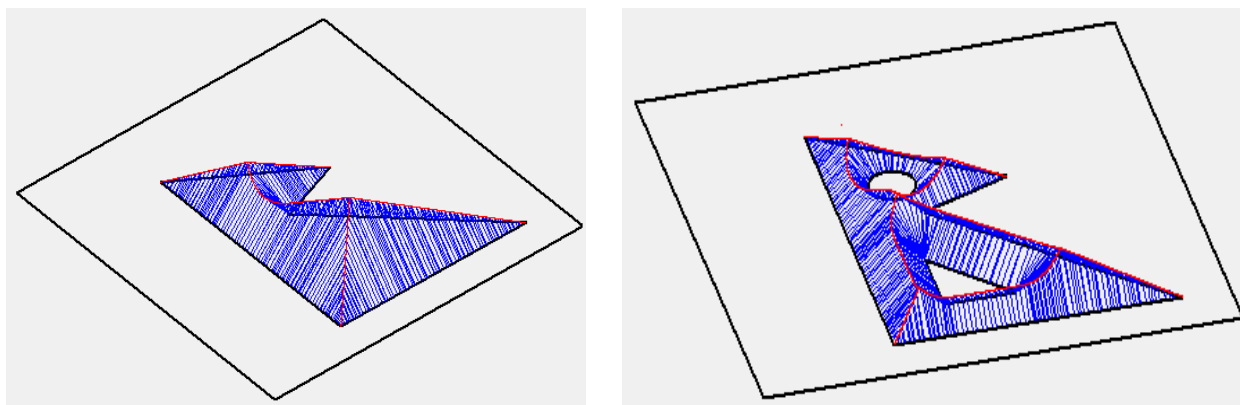


Рисунок. Результаты моделирования ПЭКД:
слева – без выреза, справа – с вырезами

Анализ формы ПЭКД для двух конструктивных вариантов – сплошная заготовка и с технологическим вырезом – позволяет сделать вывод, что для штамповки поковки с вырезом требуется меньше усилий пресса, а, следовательно, таким способом можно существенно снизить энергозатраты. При этом следует иметь в виду, что в ходе деформирования заготовки технологический вырез уменьшается в размерах до полного исчезновения. Это в конечном итоге является существенным моментом, поскольку в окончательной поковке он может быть не предусмотрен.

Использованные источники

1. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
2. Костарев И.В., Соломонов К.Н. Обоснование введения радиальной схемы течения металла в процессах штамповки тонкостенных ребристых деталей из алюминиевых сплавов // Известия вузов. Машиностроение, 2000, № 3, с. 62-65.
3. Лисунец Н.Л., Соломонов К.Н., Цепин М.А. Объемная штамповка алюминиевых заготовок. – М.: Машиностроение, 2009. – 172 с.
4. Solomonov K.N. Application of CAD/CAM systems for computer simulation of metal forming processes // Materials Science Forum, 2012, v. 704-705. pp. 434-439.

УДК 62.89

Построение эпюры контактных давлений и изучение закономерностей формообразования при производстве деталей подвижного состава *Грачева В.Н.*

Для обеспечения развития транспорта, повышения безопасности и эффективности транспортного обслуживания необходимы меры и новые технологии, направленные на развитие транспортного комплекса.

При крупносерийном производстве деталей транспортных систем весьма эффективно применение процессов обработки металлов давлением (ОМД), которые позволяют изготавливать заготовки с высокой степенью технологичности. Немало таких деталей получают из плоских заготовок. В частности, детали с ребрами жесткости, входящие в конструкцию рамы тележки вагона – это хребтовые балки, выполненные из швеллеров № 30, стальная накладка во всю ширину, составные брусья, шкворневые балки коробчатого сечения, промежуточные поперечные балки, крайние продольные балки, выполненные из швеллеров № 20. Несущие элементы кузовов, рам, стен и крыши современных вагонов имеют принципиально однотипное конструктивное исполнение и отличаются лишь линейными размерами, формой профилей и толщиной стенок подкрепляющих элементов и обшивки.

В последние годы для проектирования процессов ОМД на металлургических и машиностроительных предприятиях широко применяются программные комплексы (ПК), способные моделировать картину течения металла (Ansys, SuperForge, Forge, Abaqus, Deform, Qform, Splen и др.). Подавляющее большинство этих ПК базируется на методе конечных элементов, с чем связаны их положительные и отрицательные стороны. К достоинствам можно отнести: широту охвата решаемых задач; достаточно высокую точность получаемых результатов, которая обеспечивается, в основном, благодаря учету многих факторов (температуры, реологии, материала и т.п.); дружественный, удобный и простой, интерфейс. В качестве недостатков следует отметить: весьма высокие требования к параметрам компьютерной техники; значительное время расчета и моделирования одного варианта; сравнительно высокую сложность и низкую скорость создания файла входных данных; затратность обучения пользователей.

Для моделирования пространственной эпюры контактных давлений (ПЭКД) при пластическом формоизменении плоских заготовок разработан ПК EQUI [1], предназначенный для расчета параметров процессов объемной штамповки иковки, обладающий следующими достоинствами: невысокими требованиями к характеристикам компьютерной техники; значительной скоростью расчетов; быстрым и нетрудоемким заданием и вводом исходной информации; легким обучением пользователей. Обеспечение указанных достоинств ПК достигнуто благодаря упрощению математической модели и приведению исходной системы дифференциальных уравнений к аналитическим зависимостям [2]. Как следствие, значительное облегчение программной реализации расчетного алгоритма [3]. Там, где требуются экспресс-анализ и быстрая (пусть и приближенная) оценка потребных усилий пресса, такая программа является незаменимым помощником [4].

Разработанный ПК EQUI позволяет строить ПЭКД для любых по сложности и форме многосвязных контуров. При этом наглядность получаемого изображения обеспечивается благодаря «прозрачности» моделируемых поверхностей. Вместе с тем, удобство анализа формы ПЭКД заключается в возможности рассмотрения полученных поверхностей в разных конструктивных исполнениях (см. рис.).

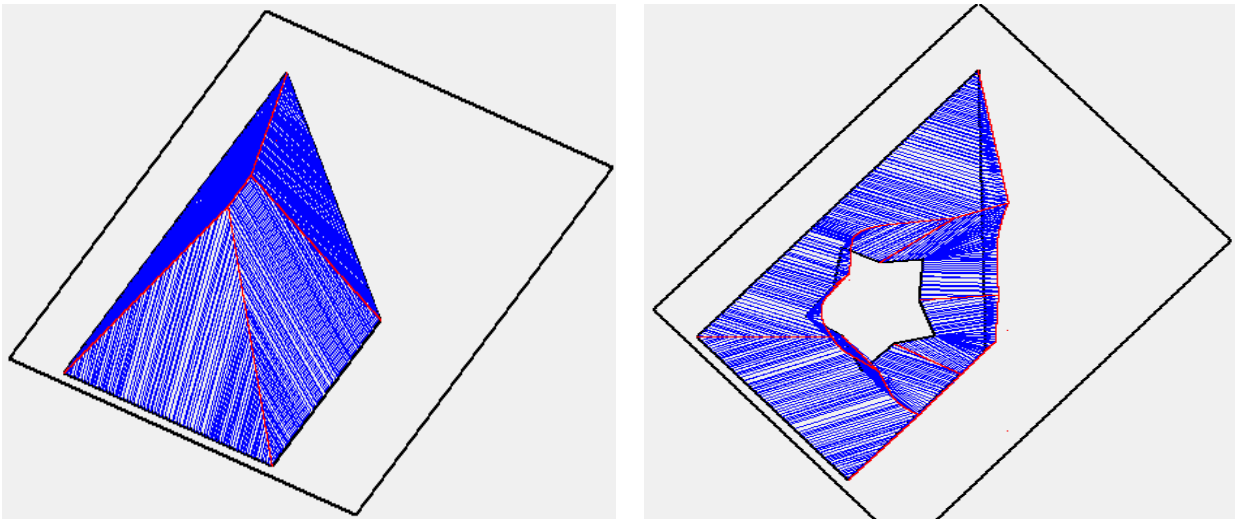


Рисунок. Результаты моделирования ПЭКД:
слева – без выреза, справа – с вырезом

Анализ формы ПЭКД для двух конструктивных вариантов – сплошная заготовка и с технологическим вырезом – позволяет сделать вывод, что для штамповки поковки с вырезом требуется меньше усилий прессы, а, следовательно, таким способом можно существенно снизить энергозатраты. При этом следует иметь в виду, что в ходе деформирования заготовки технологический вырез уменьшается в размерах до полного исчезновения. Это в конечном итоге является существенным моментом, поскольку в окончательной поковке он может быть не предусмотрен.

Использованные источники

1. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
2. Костарев И.В., Соломонов К.Н. Обоснование введения радиальной схемы течения металла в процессах штамповки тонкостенных ребристых деталей из алюминиевых сплавов // Известия вузов. Машиностроение, 2000, № 3, с. 62-65.
3. Лисунец Н.Л., Соломонов К.Н., Цепин М.А. Объемная штамповка алюминиевых заготовок. – М.: Машиностроение, 2009. – 172 с.
4. Solomonov K.N. Application of CAD/CAM systems for computer simulation of metal forming processes // Materials Science Forum, 2012, v. 704-705. pp. 434-439.

УДК 62.89

Моделирование эпюры контактных давлений при производстве деталей транспортного машиностроения

Соловьева Т.В.

Для обеспечения развития транспорта, повышения безопасности и эффективности транспортного обслуживания необходимы меры и новые технологии, направленные на развитие транспортного комплекса.

При крупносерийном производстве деталей транспортных систем весьма эффективно применение процессов обработки металлов давлением (ОМД), которые позволяют изготавливать заготовки с высокой степенью технологичности. Немало таких деталей получают из плоских заготовок. В частности, детали с ребрами жесткости, входящие в конструкцию рамы тележки вагона – это хребтовые балки, выполненные из швеллеров № 30, стальная накладка во всю ширину, составные брусья, шкворневые балки коробчатого сечения, промежуточные поперечные балки, крайние продольные балки, выполненные из швеллеров № 20. Несущие элементы кузовов, рам, стен и крыши современных вагонов имеют принципиально однотипное конструктивное исполнение и отличаются лишь линейными размерами, формой профилей и толщиной стенок подкрепляющих элементов и обшивки.

В последние годы для проектирования процессов ОМД на металлургических и машиностроительных предприятиях широко применяются программные комплексы (ПК), способные моделировать картину течения металла (Ansys, SuperForge, Forge, Abaqus, Deform, Qform, Splen и др.). Подавляющее большинство этих ПК базируется на методе конечных элементов, с чем связаны их положительные и отрицательные стороны. К достоинствам можно отнести: широту охвата решаемых задач; достаточно высокую точность получаемых результатов, которая обеспечивается, в основном, благодаря учету многих факторов (температуры, реологии, материала и т.п.); дружественный, удобный и простой, интерфейс. В качестве недостатков следует отметить: весьма высокие требования к параметрам компьютерной техники; значительное время расчета и моделирования одного варианта; сравнительно высокую сложность и низкую скорость создания файла входных данных; затратность обучения пользователей.

Для моделирования пространственной эпюры контактных давлений (ПЭКД) при пластическом формоизменении плоских заготовок разработан ПК EQUI [1], предназначенный для расчета параметров процессов объемной штамповки иковки, обладающий следующими достоинствами: невысокими требованиями к характеристикам компьютерной техники; значительной скоростью расчетов; быстрым и нетрудоемким заданием и вводом исходной информации; легким обучением пользователей. Обеспечение указанных достоинств ПК достигнуто благодаря упрощению математической модели и приведению исходной системы дифференциальных уравнений к аналитическим зависимостям [2]. Как следствие, значительное облегчение программной реализации расчетного алгоритма [3]. Там, где требуются экспресс-анализ и

быстрая (пусть и приближенная) оценка потребных усилий прессы, такая программа является незаменимым помощником [4].

Разработанный ПК EQUI позволяет строить ПЭКД для любых по сложности и форме многосвязных контуров. При этом наглядность получаемого изображения обеспечивается благодаря «прозрачности» моделируемых поверхностей. Вместе с тем, удобство анализа формы ПЭКД заключается в возможности рассмотрения полученных поверхностей в разных конструктивных исполнениях (см. рис.).

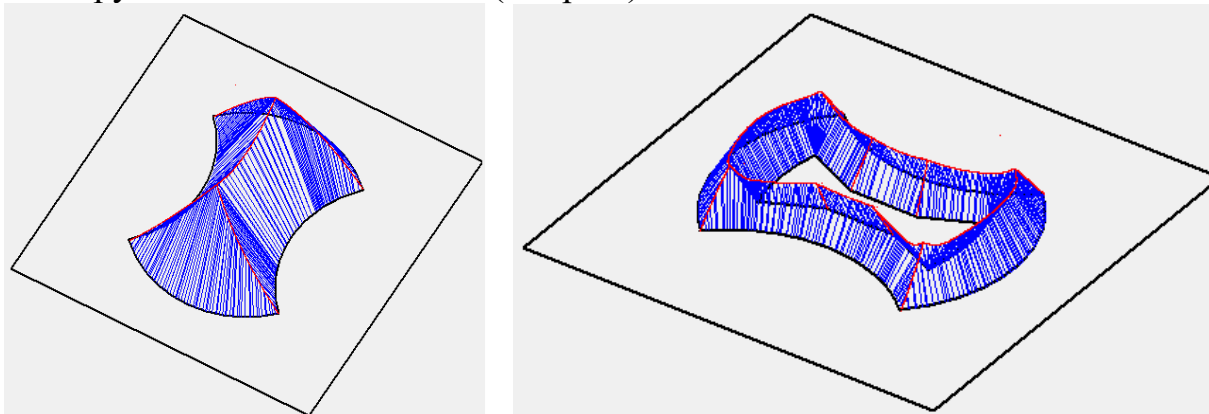


Рисунок. Результаты моделирования ПЭКД:
слева – без выреза, справа – с вырезом

Анализ формы ПЭКД для двух конструктивных вариантов – сплошная заготовка и с технологическим вырезом – позволяет сделать вывод, что для штамповки поковки с вырезом требуется меньше усилий прессы, а, следовательно, таким способом можно существенно снизить энергозатраты. При этом следует иметь в виду, что в ходе деформирования заготовки технологический вырез уменьшается в размерах до полного исчезновения. Это в конечном итоге является существенным моментом, поскольку в окончательной поковке он может быть не предусмотрен.

Использованные источники

1. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
2. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Методика построения линии раздела течения металла в процессах осадки плоских заготовок // Вестник научно-технического развития, 2016, № 2, с. 36-55.
3. Костарев И.В., Соломонов К.Н. Обоснование введения радиальной схемы течения металла в процессах штамповки тонкостенных ребристых деталей из алюминиевых сплавов // Известия вузов. Машиностроение, 2000, № 3, с. 62-65.
4. Solomonov K.N. Application of CAD/CAM systems for computer simulation of metal forming processes // Materials Science Forum, 2012, v. 704-705. pp. 434-439.

УДК 62.89

**Моделирование эпюры давлений и исследование формообразования
деталей подвижного состава, имеющих плоскостные участки**

Иванов А.О.

Для обеспечения развития транспорта, повышения безопасности и эффективности транспортного обслуживания необходимы меры и новые технологии, направленные на развитие транспортного комплекса.

При крупносерийном производстве деталей транспортных систем весьма эффективно применение процессов обработки металлов давлением (ОМД), которые позволяют изготавливать заготовки с высокой степенью технологичности. Немало таких деталей получают из плоских заготовок. В частности, детали с ребрами жесткости, входящие в конструкцию рамы тележки вагона – это хребтовые балки, выполненные из швеллеров № 30, стальная накладка во всю ширину, составные брусья, шкворневые балки коробчатого сечения, промежуточные поперечные балки, крайние продольные балки, выполненные из швеллеров № 20. Несущие элементы кузовов, рам, стен и крыши современных вагонов имеют принципиально однотипное конструктивное исполнение и отличаются лишь линейными размерами, формой профилей и толщиной стенок подкрепляющих элементов и обшивки.

В последние годы для проектирования процессов ОМД на металлургических и машиностроительных предприятиях широко применяются программные комплексы (ПК), способные моделировать картину течения металла (Ansys, SuperForge, Forge, Abaqus, Deform, Qform, Splen и др.). Подавляющее большинство этих ПК базируется на методе конечных элементов, с чем связаны их положительные и отрицательные стороны. К достоинствам можно отнести: широту охвата решаемых задач; достаточно высокую точность получаемых результатов, которая обеспечивается, в основном, благодаря учету многих факторов (температуры, реологии, материала и т.п.); дружественный, удобный и простой, интерфейс. В качестве недостатков следует отметить: весьма высокие требования к параметрам компьютерной техники; значительное время расчета и моделирования одного варианта; сравнительно высокую сложность и низкую скорость создания файла входных данных; затратность обучения пользователей.

Для моделирования пространственной эпюры контактных давлений (ПЭКД) при пластическом формоизменении плоских заготовок разработан ПК EQUI [1], предназначенный для расчета параметров процессов объемной штамповки иковки, обладающий следующими достоинствами: невысокими требованиями к характеристикам компьютерной техники; значительной скоростью расчетов; быстрым и нетрудоемким заданием и вводом исходной информации; легким обучением пользователей. Обеспечение указанных достоинств ПК достигнуто благодаря упрощению математической модели и приведению исходной системы дифференциальных уравнений к аналитическим зависимостям [2]. Как следствие, значительное облегчение программной реализации расчетного алгоритма [3]. Там, где требуются экспресс-анализ и

быстрая (пусть и приближенная) оценка потребных усилий прессы, такая программа является незаменимым помощником [4].

Разработанный ПК EQUI позволяет строить ПЭКД для любых по сложности и форме многосвязных контуров. При этом наглядность получаемого изображения обеспечивается благодаря «прозрачности» моделируемых поверхностей. Удобство анализа формы ПЭКД заключается в возможности рассмотрения полученных поверхностей в разных конструктивных исполнениях (см. рис.).

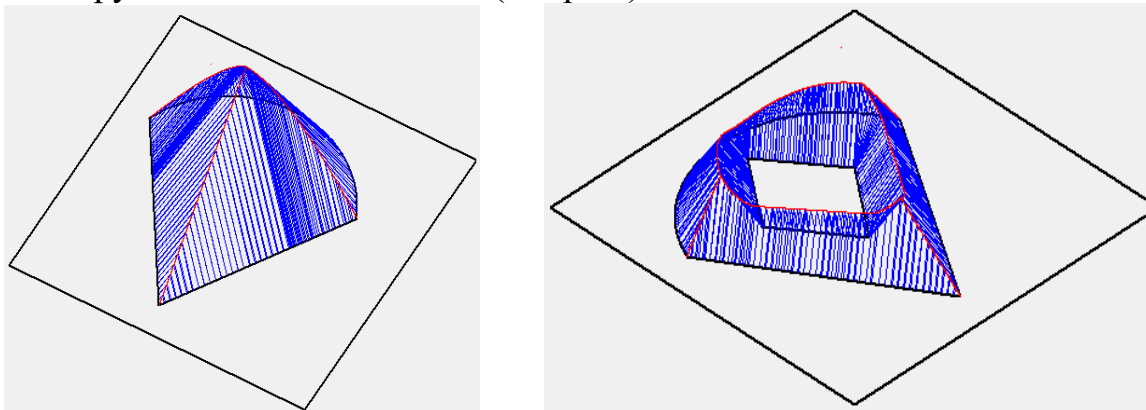


Рисунок. Результаты моделирования ПЭКД:
слева – без выреза, справа – с вырезом

Анализ формы ПЭКД для двух конструктивных вариантов – сплошная заготовка и с технологическим вырезом – позволяет сделать вывод, что для штамповки поковки с вырезом требуется меньше усилий прессы, а, следовательно, таким способом можно существенно снизить энергозатраты. При этом следует иметь в виду, что в ходе деформирования заготовки технологический вырез уменьшается в размерах до полного исчезновения. Это в конечном итоге является существенным моментом, поскольку в окончательной поковке он может быть не предусмотрен.

Использованные источники

1. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
2. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Влияние трения на формоизменение плоской заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия, 2018, т. 61, № 3, с. 251-253.
3. Костарев И.В., Соломонов К.Н. Обоснование введения радиальной схемы течения металла в процессах штамповки тонкостенных ребристых деталей из алюминиевых сплавов // Известия вузов. Машиностроение, 2000, № 3, с. 62-65.
4. Solomonov K.N. Application of CAD/CAM systems for computer simulation of metal forming processes // Materials Science Forum, 2012, v. 704-705. pp. 434-439.

УДК 62.89

Моделирование картины течения металла при исследовании закономерностей формообразования деталей подвижного состава

Анурова Е.П.

Для обеспечения развития транспорта, повышения безопасности и эффективности транспортного обслуживания необходимы меры и новые технологии, направленные на развитие транспортного комплекса.

При крупносерийном производстве деталей транспортных систем весьма эффективно применение процессов обработки металлов давлением (ОМД), которые позволяют изготавливать заготовки с высокой степенью технологичности. Немало таких деталей получают из плоских заготовок. В частности, детали с ребрами жесткости, входящие в конструкцию рамы тележки вагона – это хребтовые балки, выполненные из швеллеров № 30, стальная накладка во всю ширину, составные брусья, шкворневые балки коробчатого сечения, промежуточные поперечные балки, крайние продольные балки, выполненные из швеллеров № 20. Несущие элементы кузовов, рам, стен и крыши современных вагонов имеют принципиально однотипное конструктивное исполнение и отличаются лишь линейными размерами, формой профилей и толщиной стенок подкрепляющих элементов и обшивки.

В последние годы для проектирования процессов ОМД на металлургических и машиностроительных предприятиях широко применяются программные комплексы (ПК), способные моделировать картину течения металла (Ansys, SuperForge, Forge, Abaqus, Deform, Qform, Splen и др.). Подавляющее большинство этих ПК базируется на методе конечных элементов, с чем связаны их положительные и отрицательные стороны. К достоинствам можно отнести: широту охвата решаемых задач; достаточно высокую точность получаемых результатов, которая обеспечивается, в основном, благодаря учету многих факторов (температуры, реологии, материала и т.п.); дружественный, удобный и простой, интерфейс. В качестве недостатков следует отметить: весьма высокие требования к параметрам компьютерной техники; значительное время расчета и моделирования одного варианта; сравнительно высокую сложность и низкую скорость создания файла входных данных; затратность обучения пользователей.

Для моделирования картины течения металла (КТМ) при пластическом формоизменении плоских заготовок разработан ПК EQUI [1, 2], предназначенный для расчета параметров процессов объемной штамповки иковки, обладающий следующими достоинствами: невысокими требованиями к характеристикам компьютерной техники; значительной скоростью расчетов; быстрым и нетрудоемким заданием и вводом исходной информации; легким обучением пользователей. Обеспечение указанных достоинств ПК достигнуто благодаря упрощению математической модели и приведению исходной системы дифференциальных уравнений к аналитическим зависимостям. Как следствие, значительное облегчение программной реализации расчетного алгоритма [3, 4]. Там, где требуются экспресс-анализ и быстрая (пусть и

приближенная) оценка пластического формоизменения заготовки, такая программа является незаменимым помощником.

Разработанный ПК EQUI позволяет строить КТМ для любых по сложности и форме многосвязных контуров. При этом наглядность построений обеспечивается благодаря сочетанию изображения линий раздела течения металла (эквидистант) и линий тока. Вместе с тем удобство анализа КТМ заключается в возможности рассмотрения полученных результатов для различных конструктивных решений (см. рис.).

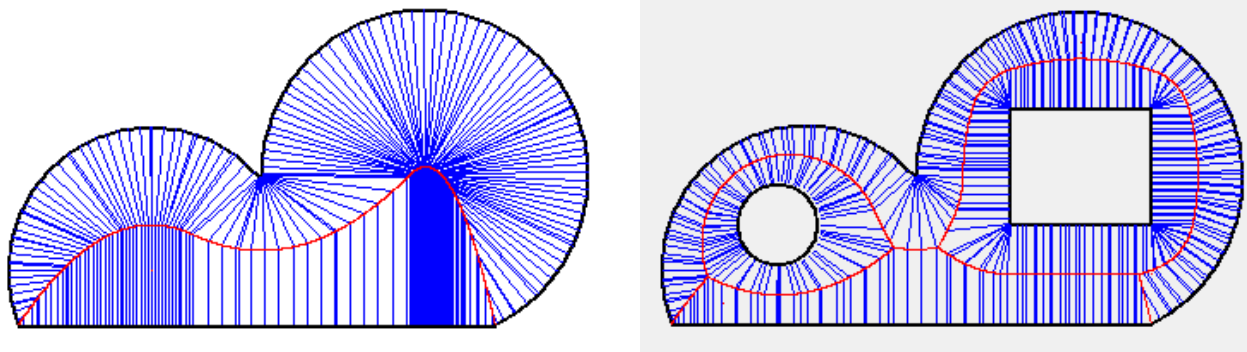


Рисунок. Результаты моделирования КТМ:
слева – без выреза, справа – с вырезами

Анализ КТМ для двух конструктивных вариантов – сплошная заготовка и с технологическим вырезом – позволяет сделать вывод, что штамповка поковки с вырезом обеспечивает более равномерное течение металла по полотну заготовки, а, следовательно, лучшую макроструктуру изделия и снижает вероятность образования трещин и «подрезов». При этом следует иметь в виду, что в ходе деформирования заготовки технологический вырез уменьшается в размерах до полного исчезновения. Это в конечном итоге является существенным моментом, поскольку в окончательной поковке он может быть не предусмотрен.

Использованные источники

1. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Моделирование технологических методик пластического деформирования // Известия Самарского НЦ РАН, 2017, том 19, № 1 (3), с. 517-519.
2. Тищук Л.И., Соломонов К.Н., Мазур И.П. и др. Исследование картины течения металла при осадке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017, т. 15, № 3, с. 37-44.
3. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
4. Solomonov K.N. Application of CAD/CAM systems for computer simulation of metal forming processes // Materials Science Forum, 2012, v. 704-705. pp. 434-439.

УДК 62.89

Исследование закономерностей формообразования деталей подвижного состава и моделирование картины течения металла образца сложной формы

Ижокин Д.Г.

Для обеспечения развития транспорта, повышения безопасности и эффективности транспортного обслуживания необходимы меры, направленные на развитие транспортного комплекса, а также новые технологии.

При крупносерийном производстве деталей транспортных систем весьма эффективно применение процессов обработки металлов давлением (ОМД), которые позволяют изготавливать заготовки с высокой степенью технологичности. Немало таких деталей получают из плоских заготовок. В частности, детали с ребрами жесткости, входящие в конструкцию рамы тележки вагона – это хребтовые балки, выполненные из швеллеров № 30, стальная накладка во всю ширину, составные брусья, шкворневые балки коробчатого сечения, промежуточные поперечные балки, крайние продольные балки, выполненные из швеллеров № 20. Несущие элементы кузовов, рам, стен и крыши современных вагонов имеют принципиально однотипное конструктивное исполнение и отличаются лишь линейными размерами, формой профилей и толщиной стенок подкрепляющих элементов и обшивки.

В последние годы для проектирования процессов ОМД на металлургических и машиностроительных предприятиях широко применяются программные комплексы (ПК), предназначенные для моделирования картины течения металла (Ansys, SuperForge, Forge, Abaqus, Deform, Qform, Splen и др.). Такие ПК базируются на методе конечных элементов, что существенно усложняет математическую модель процесса, увеличивает время расчета и моделирования одного варианта, увеличивает трудоемкость создания файла входных данных. Такие ПК сложны, имеют высокие требования к компьютерной технике и затратность обучения пользователей. К достоинствам можно отнести: широту охвата решаемых задач; достаточно высокую точность получаемых результатов, которая обеспечивается, в основном, благодаря учету многих факторов (температуры, реологии, материала и т.п.).

При пластическом формоизменении плоских заготовок для решения задачи моделирования картины течения металла (КТМ) разработан ПК EQUI, предназначенный для расчета параметров процессов объемной штамповки иковки [1]. EQUI имеет следующие достоинства: невысокие требования к характеристикам компьютерной техники; значительная скорость расчетов; быстрое и нетрудоемкое задание и ввод исходной информации; легкое обучение пользователей [2]. Указанные достоинства ПК обеспечиваются благодаря достаточно простой математической модели, исходная система дифференциальных уравнений сводится к аналитическим зависимостям. Как следствие, значительное облегчение программной реализации расчетного алгоритма [3]. Такая программа будет незаменима там, где требуются экспресс-

анализ и быстрая (пусть и приближенная) оценка пластического формоизменения заготовки при различных условиях трения [4].

При использовании разработанного ПК EQUI можно строить КТМ для любых по сложности и форме многосвязных контуров. А наглядность полученного изображения обеспечивается сочетанием изображения линий раздела течения металла (эквидистант) и линий тока. Удобство анализа КТМ заключается в возможности рассмотрения полученных результатов для различных конструктивных решений (см. рис.).

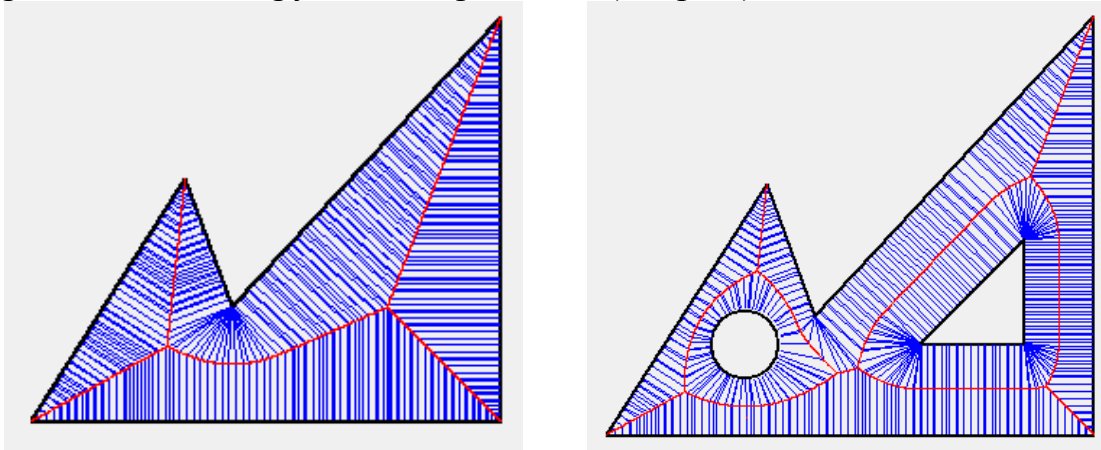


Рисунок. Результаты моделирования КТМ:
слева – без выреза, справа – с вырезами

Анализ КТМ для двух конструктивных вариантов – сплошная заготовка и с технологическим вырезом – позволяет сделать вывод, что штамповка поковки с вырезом обеспечивает более равномерное течение металла по полотну заготовки, а, следовательно, лучшую макроструктуру изделия и снижает вероятность образования трещин и «подрезов». При этом следует иметь в виду, что в ходе деформирования заготовки технологический вырез уменьшается в размерах, а затем исчезает вовсе. Поэтому использование технологического выреза возможно даже в том случае, когда в окончательной поковке он не предусмотрен.

Использованные источники

1. Тищук Л.И., Соломонов К.Н., Мазур И.П. и др. Исследование картины течения металла при осадке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017, т. 15, № 3, с. 37-44.
2. Соломонов К.Н., Федорин Н.И., Тищук Л.И. Моделирование технологических методик пластического деформирования // Известия Самарского НЦ РАН, 2017, том 19, № 1 (3), с. 517-519.
3. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2003, № 8, с. 42-48.
4. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Влияние трения на формоизменение плоской заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия, 2018, т. 61, № 3, с. 251–253.

УДК 62.89

Исследование закономерностей течения металла при изготовлении деталей транспортного машиностроения

Костюченко Д.В.

Для обеспечения развития транспорта, повышения безопасности и эффективности транспортного обслуживания необходимы меры и новые технологии, направленные на развитие транспортного комплекса.

При крупносерийном производстве деталей транспортных систем весьма эффективно применение процессов обработки металлов давлением (ОМД), которые позволяют изготавливать заготовки с высокой степенью технологичности. Немало таких деталей получают из плоских заготовок. В частности, детали с ребрами жесткости, входящие в конструкцию рамы тележки вагона – это хребтовые балки, выполненные из швеллеров № 30, стальная накладка во всю ширину, составные брусья, шкворневые балки коробчатого сечения, промежуточные поперечные балки, крайние продольные балки, выполненные из швеллеров № 20. Несущие элементы кузовов, рам, стен и крыши современных вагонов имеют принципиально однотипное конструктивное исполнение и отличаются лишь линейными размерами, формой профилей и толщиной стенок подкрепляющих элементов и обшивки.

В последние годы для проектирования процессов ОМД на металлургических и машиностроительных предприятиях широко применяются программные комплексы (ПК), способные моделировать картину течения металла (Ansys, SuperForge, Forge, Abaqus, Deform, Qform, Splen и др.). Подавляющее большинство этих ПК базируется на методе конечных элементов, с чем связаны их положительные и отрицательные стороны. К достоинствам можно отнести: широту охвата решаемых задач; достаточно высокую точность получаемых результатов, которая обеспечивается, в основном, благодаря учету многих факторов (температуры, реологии, материала и т.п.); дружественный, удобный и простой, интерфейс. В качестве недостатков следует отметить: весьма высокие требования к параметрам компьютерной техники; значительное время расчета и моделирования одного варианта; сравнительно высокую сложность и низкую скорость создания файла входных данных; затратность обучения пользователей.

Для моделирования картины течения металла (КТМ) при пластическом формоизменении плоских заготовок разработан ПК EQUI, предназначенный для расчета параметров процессов объемной штамповки иковки [1, 2], обладающий следующими достоинствами: невысокими требованиями к характеристикам компьютерной техники; значительной скоростью расчетов; быстрым и нетрудоёмким заданием и вводом исходной информации; легким обучением пользователей. Обеспечение указанных достоинств ПК достигнуто благодаря упрощению математической модели и приведению исходной системы дифференциальных уравнений к аналитическим зависимостям. Как следствие, значительное облегчение программной реализации расчетного алгоритма [3]. Там, где требуются экспресс-анализ и быстрая (пусть и

приближенная) оценка пластического формоизменения заготовки, такая программа является незаменимым помощником.

Разработанный ПК EQUI позволяет строить КТМ для любых по сложности и форме многосвязных контуров. При этом наглядность построений обеспечивается благодаря сочетанию изображения линий раздела течения металла (эквидистант) и линий тока. Вместе с тем удобство анализа КТМ заключается в возможности рассмотрения полученных результатов для различных конструктивных решений (см. рис.).

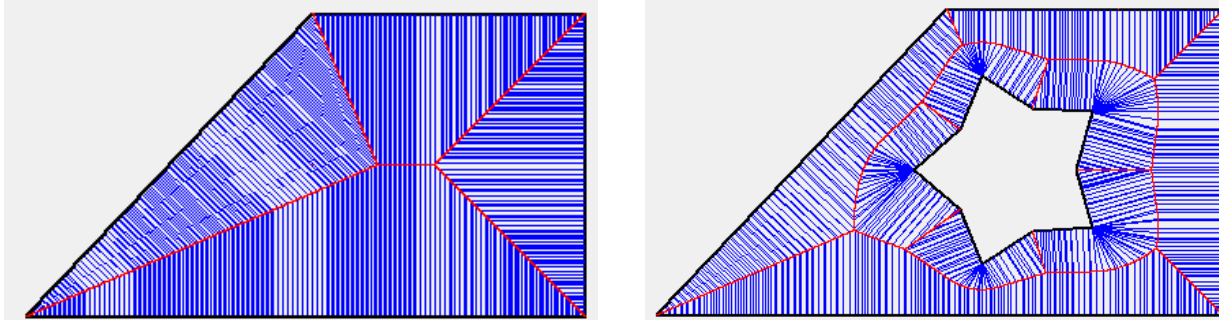


Рисунок. Результаты моделирования КТМ:
слева – без выреза, справа – с вырезом

Анализ КТМ для двух конструктивных вариантов – сплошная заготовка и с технологическим вырезом – позволяет сделать вывод, что штамповка поковки с вырезом обеспечивает более равномерное течение металла по полотну заготовки, а, следовательно, лучшую макроструктуру изделия и снижает вероятность образования трещин и «подрезов». При этом следует иметь в виду, что в ходе деформирования заготовки технологический вырез уменьшается в размерах до полного исчезновения. Это в конечном итоге является существенным моментом, поскольку в окончательной поковке он может быть не предусмотрен. Методы неразрушающего контроля, применяемые при производстве деталей транспортного машиностроения, позволяют проверить структуру металла в месте исчезновения отверстия [4].

Использованные источники

1. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Моделирование технологических методик пластического деформирования // Известия Самарского НЦ РАН, 2017, том 19, № 1 (3), с. 517-519.
2. Тищук Л.И., Соломонов К.Н., Мазур И.П. и др. Исследование картины течения металла при осадке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017, т. 15, № 3, с. 37-44.
3. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Влияние трения на формоизменение плоской заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия, 2018, т. 61, № 3, с. 251-253
4. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Применение неразрушающего контроля в процессах производства и эксплуатации транспортных систем // Труды XIV Всероссийской научно-технической конференции АКТ-2013. – Воронеж: Элист, 2013. – С. 287-291.

УДК 62.89

Исследование влияния конструктивных элементов на изменение картины течения металла при изготовлении деталей подвижного состава

Пивоваров В.М.

Сегодня для развития транспортного комплекса необходимы новые мероприятия и технологии, повышающие безопасность и эффективность транспортного обслуживания.

В целях экономии ресурсов при производстве подвижного состава эффективно применение процессов обработки металлов давлением (ОМД), которые позволяют изготавливать высокотехнологичные заготовки. Немало таких деталей получают из плоских заготовок. В частности, детали с ребрами жесткости, входящие в конструкцию рамы тележки вагона – это хребтовые балки, выполненные из швеллеров № 30, стальная накладка во всю ширину, составные брусья, шкворневые балки коробчатого сечения, промежуточные поперечные балки, крайние продольные балки, выполненные из швеллеров № 20. Несущие элементы кузовов, рам, стен и крыши современных вагонов имеют принципиально однотипное конструктивное исполнение и отличаются лишь линейными размерами, формой профилей и толщиной стенок подкрепляющих элементов и обшивки.

Для проектирования процессов ОМД на металлургических и машиностроительных предприятиях широко применяются программные комплексы (ПК), предназначенные для моделирования картины течения металла (Ansys, SuperForge, Forge, Abaqus, Deform, Qform, Splen и др.). Подавляющее большинство этих ПК базируется на методе конечных элементов, что значительно усложняет их реализацию. Достоинства указанных ПК: широта охвата решаемых задач; достаточно высокая точность получаемых результатов, которая обеспечивается, в основном, благодаря учету многих факторов (температуры, реологии, материала и т.п.); удобный и простой, интерфейс. Недостатки: высокие требования к параметрам компьютерной техники; значительное время расчета и моделирования одного варианта; сравнительно высокая сложность и низкая скорость создания файла входных данных; затратность обучения пользователей.

Для моделирования картины течения металла (КТМ) при пластическом формоизменении плоских заготовок разработан ПК EQUI, предназначенный для расчета параметров процессов объемной штамповки иковки [1, 2], обладающий следующими достоинствами: невысокими требованиями к характеристикам компьютерной техники; значительной скоростью расчетов; быстрым и нетрудоёмким заданием и вводом исходной информации; легким обучением пользователей. Обеспечение указанных достоинств ПК достигнуто благодаря упрощению математической модели и приведению исходной системы дифференциальных уравнений к аналитическим зависимостям. Как следствие, значительное облегчение программной реализации расчетного алгоритма [3]. Там, где требуются экспресс-анализ и быстрая (пусть и

приближенная) оценка пластического формоизменения заготовки, такая программа является незаменимым помощником.

Разработанный ПК EQUI позволяет строить КТМ для любых по сложности и форме многосвязных контуров. При этом наглядность построений обеспечивается благодаря сочетанию изображения линий раздела течения металла (эквидистант) и линий тока. Вместе с тем удобство анализа КТМ заключается в возможности рассмотрения полученных результатов для различных конструктивных решений (см. рис.).

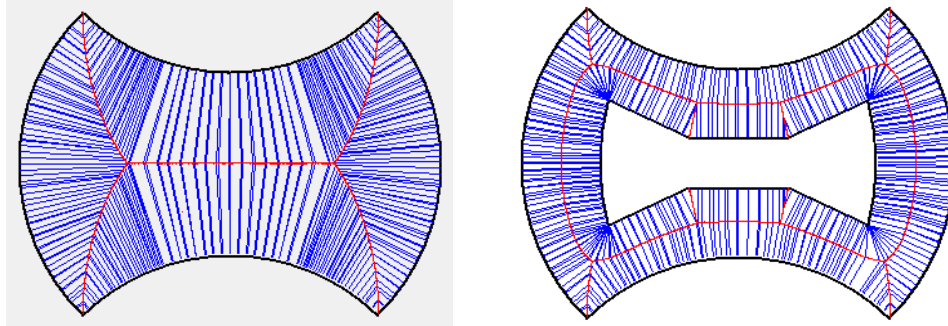


Рисунок. Результаты моделирования КТМ:
слева – без выреза, справа – с вырезом

Анализ КТМ для двух конструктивных вариантов – сплошная заготовка и с технологическим вырезом – позволяет сделать вывод, что штамповка поковки с вырезом обеспечивает более равномерное течение металла по полотну заготовки, а, следовательно, лучшую макроструктуру изделия и снижает вероятность образования различных дефектов. При этом следует иметь в виду, что в ходе деформирования заготовки технологический вырез уменьшается в размерах до полного исчезновения, что позволяет в значительной мере экономить время и средства. После «схлопывания» отверстия необходимо проверить структуру металла. Для этой цели при производстве деталей транспортного машиностроения применяют различные методы неразрушающего контроля, в частности, акустический контроль [4].

Использованные источники

1. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Моделирование технологических методик пластического деформирования // Известия Самарского НЦ РАН, 2017, том 19, № 1 (3), с. 517-519.
2. Тищук Л.И., Соломонов К.Н., Мазур И.П. и др. Исследование картины течения металла при осадке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017, т. 15, № 3, с. 37-44.
3. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Влияние трения на формоизменение плоской заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия, 2018, т. 61, № 3, с. 251-253
4. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Применение неразрушающего контроля в процессах производства и эксплуатации транспортных систем // Труды XIV Всероссийской научно-технической конференции АКТ-2013. – Воронеж: Элист, 2013. – С. 287-291.

УДК 62.89

Исследование формоизменения плоских заготовок при производстве деталей подвижного состава железнодорожного транспорта

Косоногов Д.А.

Для обеспечения развития транспорта, повышения безопасности и эффективности транспортного обслуживания необходимы меры и новые технологии, направленные на развитие транспортного комплекса.

При крупносерийном производстве деталей транспортных систем весьма эффективно применение процессов обработки металлов давлением (ОМД), которые позволяют изготавливать заготовки с высокой степенью технологичности. Немало таких деталей получают из плоских заготовок. В частности, детали с ребрами жесткости, входящие в конструкцию рамы тележки вагона – это хребтовые балки, выполненные из швеллеров № 30, стальная накладка во всю ширину, составные брусья, шкворневые балки коробчатого сечения, промежуточные поперечные балки, крайние продольные балки, выполненные из швеллеров № 20. Несущие элементы кузовов, рам, стен и крыши современных вагонов имеют принципиально однотипное конструктивное исполнение и отличаются лишь линейными размерами, формой профилей и толщиной стенок подкрепляющих элементов и обшивки.

В последние годы для проектирования процессов ОМД на металлургических и машиностроительных предприятиях широко применяются программные комплексы (ПК), способные моделировать картину течения металла (Ansys, SuperForge, Forge, Abaqus, Deform, Qform, Splen и др.). Подавляющее большинство этих ПК базируется на методе конечных элементов, с чем связаны их положительные и отрицательные стороны. К достоинствам можно отнести: широту охвата решаемых задач; достаточно высокую точность получаемых результатов, которая обеспечивается, в основном, благодаря учету многих факторов (температуры, реологии, материала и т.п.); дружественный, удобный и простой, интерфейс. В качестве недостатков следует отметить: весьма высокие требования к параметрам компьютерной техники; значительное время расчета и моделирования одного варианта; сравнительно высокую сложность и низкую скорость создания файла входных данных; затратность обучения пользователей.

Для моделирования картины течения металла (КТМ) при пластическом формоизменении плоских заготовок разработан ПК EQUI, предназначенный для расчета параметров процессов объемной штамповки иковки [1, 2], обладающий следующими достоинствами: невысокими требованиями к характеристикам компьютерной техники; значительной скоростью расчетов; быстрым и нетрудоемким заданием и вводом исходной информации; легким обучением пользователей. Обеспечение указанных достоинств ПК достигнуто благодаря упрощению математической модели и приведению исходной системы дифференциальных уравнений к аналитическим зависимостям. Как следствие, значительное облегчение программной реализации расчетного алгоритма [3]. Там, где требуются экспресс-анализ и быстрая (пусть и

приближенная) оценка пластического формоизменения заготовки, такая программа является незаменимым помощником.

Разработанный ПК EQUI позволяет строить КТМ для любых по сложности и форме многосвязных контуров. При этом наглядность построений обеспечивается благодаря сочетанию изображения линий раздела течения металла (эквидистант) и линий тока. Вместе с тем удобство анализа КТМ заключается в возможности рассмотрения полученных результатов для различных конструктивных решений (см. рис.).

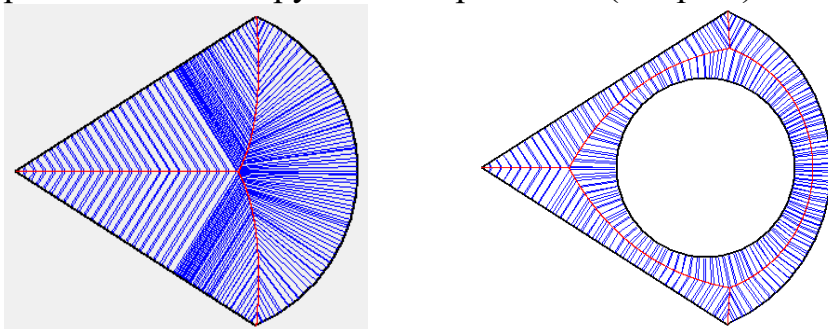


Рисунок. Результаты моделирования КТМ:
слева – без выреза, справа – с вырезом

Анализ КТМ для двух конструктивных вариантов – сплошная заготовка и с технологическим вырезом – позволяет сделать вывод, что штамповка поковки с вырезом обеспечивает более равномерное течение металла по полотну заготовки, а, следовательно, лучшую макроструктуру изделия и снижает вероятность образования трещин и «подрезов». При этом следует иметь в виду, что в ходе деформирования заготовки технологический вырез уменьшается в размерах до полного исчезновения. Это в конечном итоге является существенным моментом, поскольку в окончательной поковке он может быть не предусмотрен. Методы неразрушающего контроля, применяемые при производстве деталей транспортного машиностроения, позволяют проверить структуру металла в месте исчезновения отверстия [4].

Использованные источники

1. Соломонов К.Н., Федоринин Н.И., Тищук Л.И. Моделирование технологических методик пластического деформирования // Известия Самарского НЦ РАН, 2017, том 19, № 1 (3), с. 517-519.
2. Тищук Л.И., Соломонов К.Н., Мазур И.П. и др. Исследование картины течения металла при осадке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2017, т. 15, № 3, с. 37-44.
3. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Влияние трения на формоизменение плоской заготовки // Изв. вузов. Черная металлургия, 2018, т. 61, № 3, с. 251-253
4. Тищук Л.И., Соломонов К.Н. Применение неразрушающего контроля в процессах производства и эксплуатации транспортных систем // Труды XIV Всероссийской научно-технической конференции АКТ-2013. – Воронеж: Элист, 2013. – С. 287-291

**ТРУДЫ 78-й СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ РГУПС (ЧАСТЬ 5)**

Секция «Строительство железных дорог, мостов и тоннелей»
Секция «Теоретическая механика, детали машин и конструирование»
(Воронеж, 19 апреля 2019г.)

Отпечатано: филиал РГУПС в г. Воронеж
г. Воронеж, ул. Урицкого 75А
тел. (473) 253-17-31

Подписано в печать 04.06.2019 Формат 21x30 ½
Печать электронная. Усл.печ.л. – 4,4